

Лабораторная работа №3  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ  
(ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ)**

**Лабораторная работа состоит из 2х частей.** В первой части рассматривается модель процесса продажи нового продукта в магазине за счет рекламы, во второй части – модель дополняется процессом повторных покупок и изменением стратегии рекламной кампании магазина.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:**

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

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Смоделировать процесс продажи нового продукта в магазине, в который приходят покупатели (клиенты). Построить имитационную модель системной динамики, по которой необходимо узнать как происходит процесс продажи нового продукта, и за счет чего происходит изменение его продаж.

**ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:**

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. При выполнении лабораторной работы студент сначала, выполняет общее задание, а затем индивидуальное задание по варианту, предлагаемому преподавателем.
3. Продемонстрировать результаты работы преподавателю. Ответить на контрольные вопросы.
4. Сделать вывод о влиянии изменяемых значений на результат работы модели.
5. Оформить отчет с описанием работы, графиками, диаграммами и необходимыми копиями экрана.

**КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

***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 пропорциональна числу людей, на которых она действует, т.е. числу потенциальных покупателей. В свою очередь, эффективность «сарафанного радио» зависит от числа людей, уже купивших продукт. Иными словами, в данной модели должна быть отражена структура взаимных зависимостей характеристик и параметров системы.

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.

**Накопители** (также называемые уровнями или фондами) представляют собой такие объекты реального мира, в которых сосредотачиваются некоторые ресурсы; их значения изменяются непрерывно.

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

**Вспомогательные переменные** помогают преобразовывать одни числовые значения в другие; они могут произвольно изменять свои значения или быть константами.

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.

Системно-динамическое представление данной модели показано на рис. 3.1. Накопители обозначаются прямоугольниками, поток – вентилем, а вспомогательные переменные – кружками. Стрелки обозначают причинно-следственные зависимости в модели.

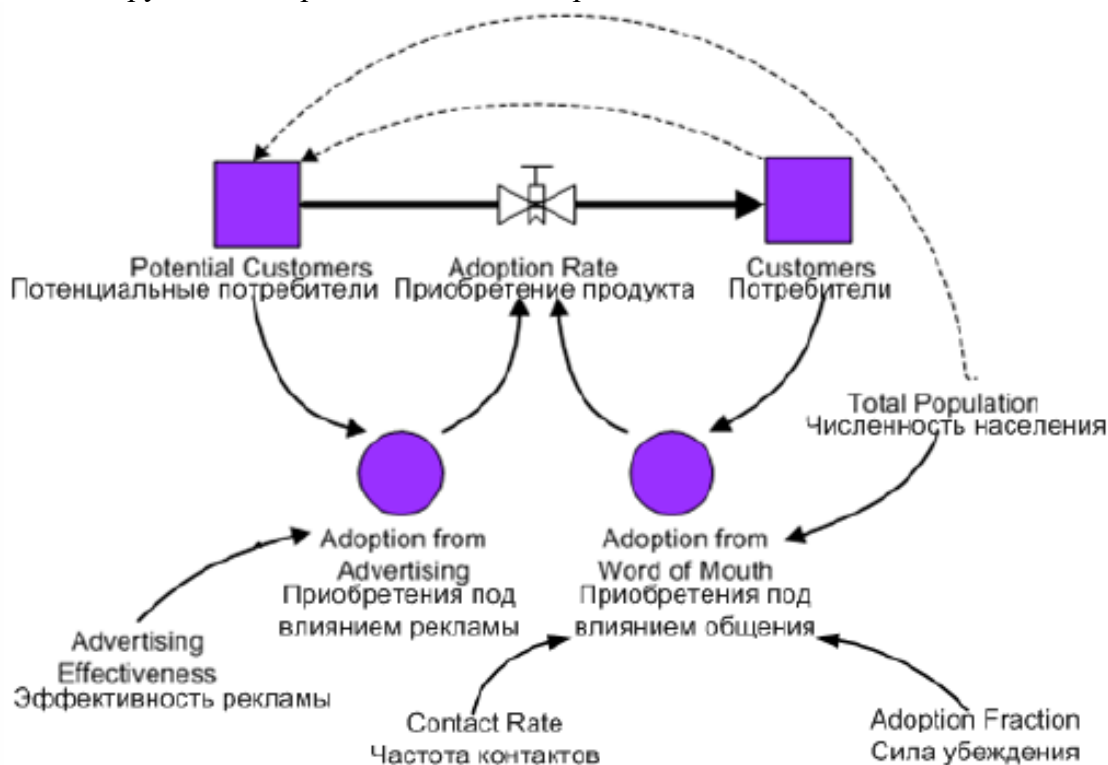


Рисунок 3.1 - Системно-динамическое представление модели жизненного цикла продукта

#### Краткий обзор AnyLogic

AnyLogic – это программное обеспечение для мультиметодного имитационного моделирования, позволяющая обеспечить повышенную эффективность и меньший риск при решении рабочих задач в сложных предметных областях.

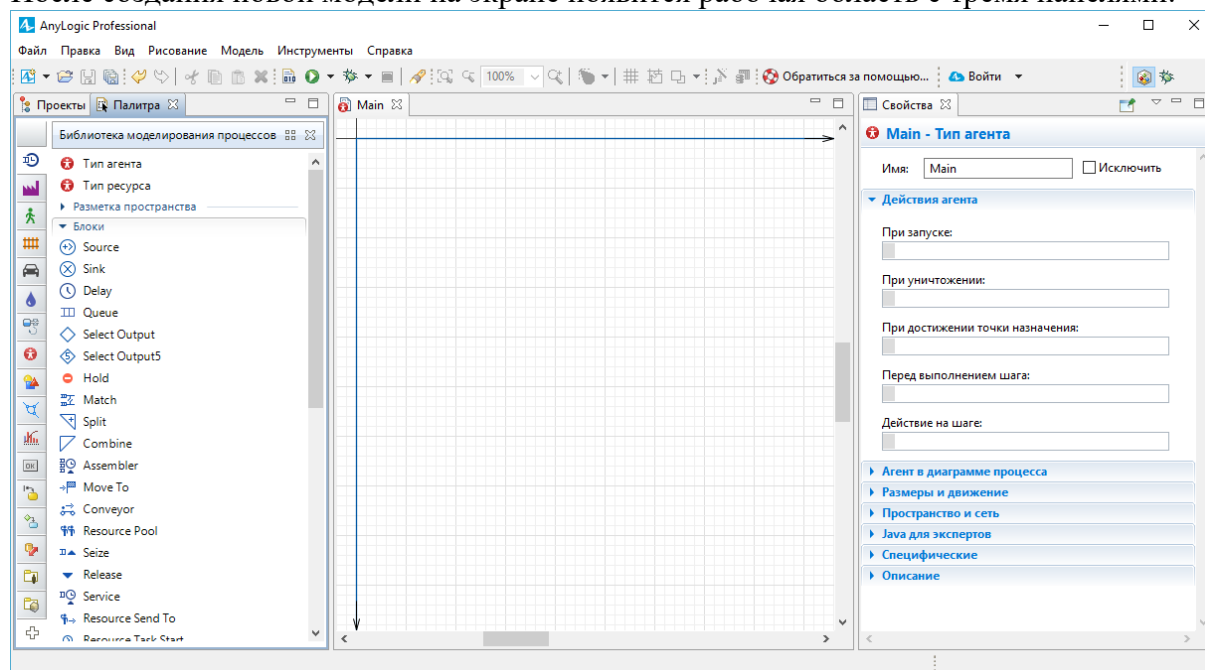
Программный продукт AnyLogic (рус. ЭниЛоджик) от российского разработчика The AnyLogic Company предназначено для моделирования, помогающее компаниям в области транспорта, производства, логистики, добывающей промышленности, цепочки поставок, здравоохранения и других отраслей тестировать и исследовать сценарии «что если» с при помощи 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*.





### 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.

#### Основные элементы AnyLogic для моделирование системно-динамических моделей

Для моделирования методом системной динамики 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**.

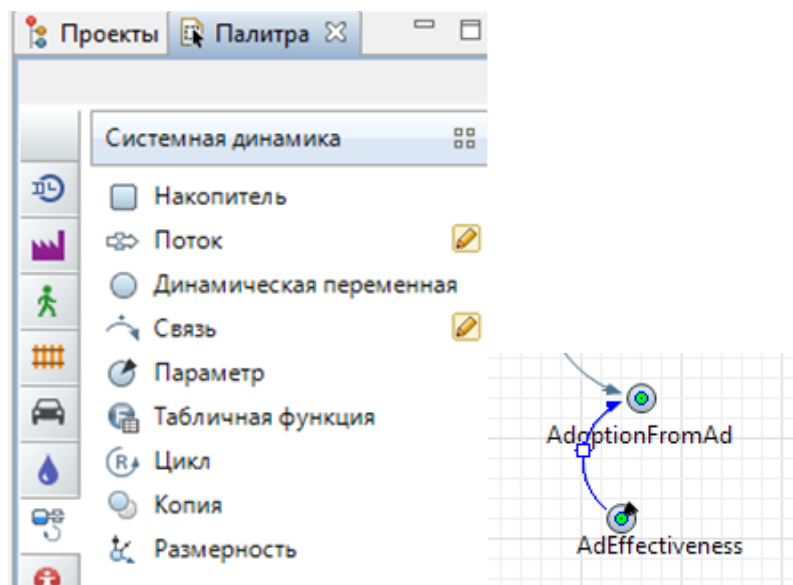
Если необходимо задать для переменной дифференциальное уравнение, то нужно использовать Накопитель.

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

#### Соединение объектов модели между собой

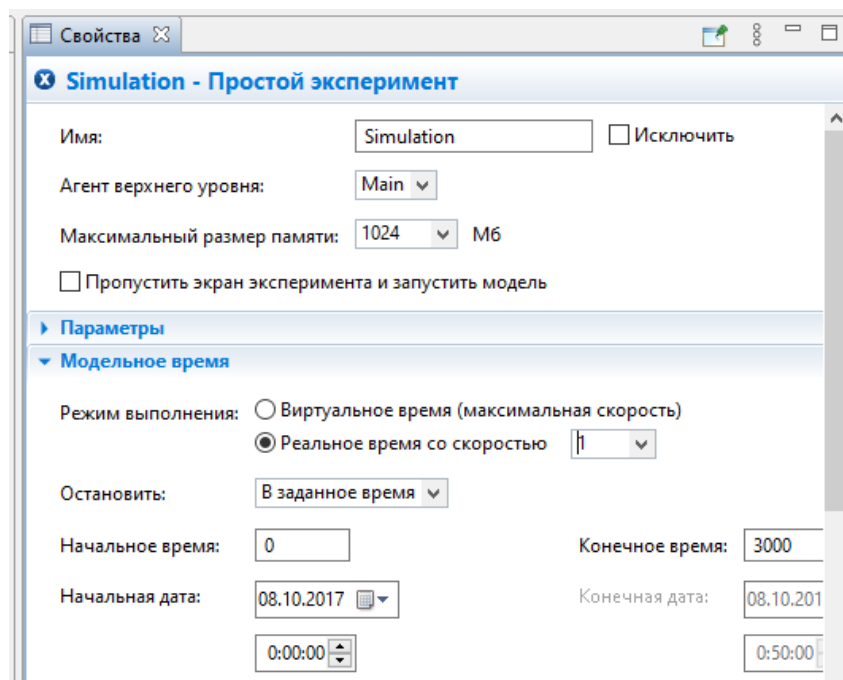
Объекты должны взаимодействовать между собой, поэтому необходимо соединять их друг с другом. Можно соединять объекты с помощью мыши, перетаскиванием порта одного объекта на порт другого или с помощью элемента «Связь».

Чтобы установить связь между переменными и параметрами необходимо в окне палитры **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**.

## Лабораторная работа № 3.1

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ НОВОГО ПРОДУКТА С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СРЕДЕ ANYLOGIC

## 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. 3.2), 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 3.1

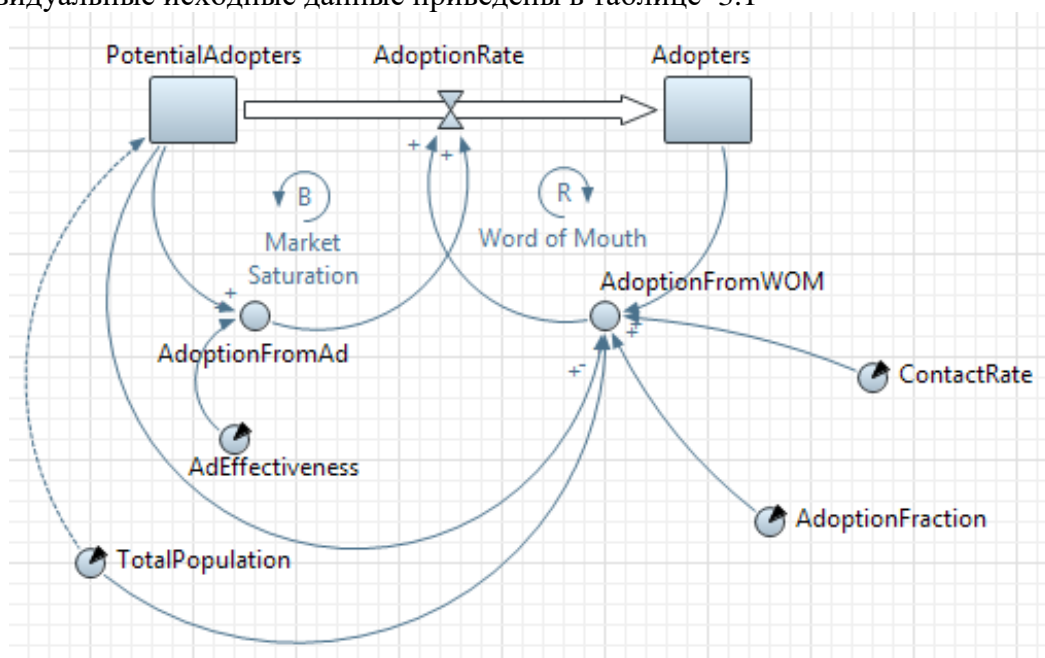


Рисунок 3.2 - Модель распространения инноваций



## 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 3.2).
3. Указать следующие зависимости параметров модели:

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

;

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

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

$$\text{ПродажиИзЗаУстнойРекламы} = \text{Клиенты} \times \text{ЧастотаКонтактов} \times$$

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

4. Внести индивидуальные исходные данные в созданную модель согласно варианту, выданному преподавателем (см. табл. 3.1).
5. Провести анализ продаж нового продукта в магазине в соответствии с постановкой задачи. Сделать выводы.

## РАБОТА В СРЕДЕ ANYLOGIC

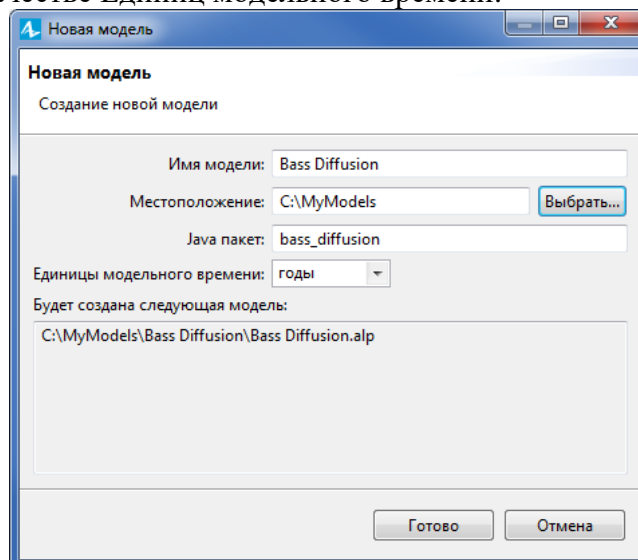
### 1. Анализ модели

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

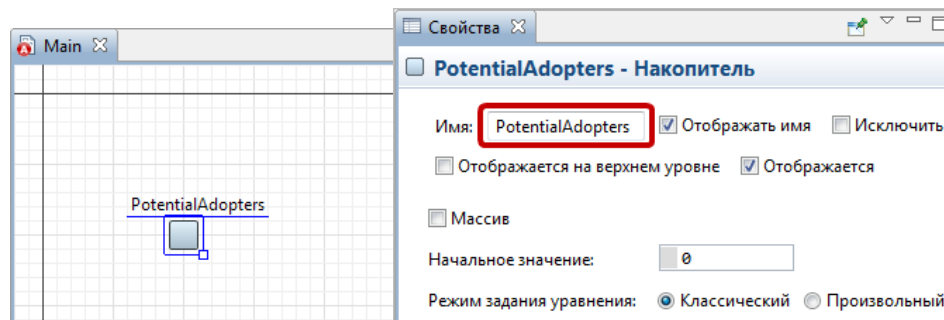
- Создайте новую модель с именем Bass Diffusion.
- Выберите *годы* в качестве Единиц модельного времени.



### 3. Создание накопителей

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 скопировать существующий накопитель, перетаскив его мышью с нажатой клавишей Ctrl (при этом свойства нового элемента будут теми же, что и у скопированного, 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

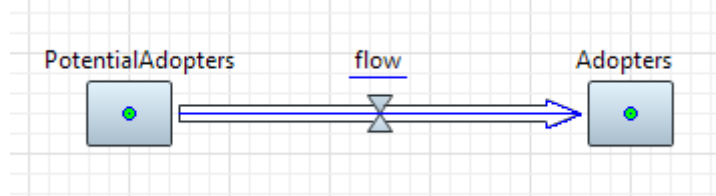
В заданной модели есть только один поток - поток продаж продукта, увеличивающий число потребителей продукта и уменьшающий численность потенциальных потребителей.

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

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

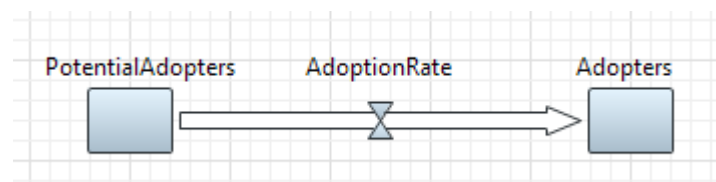
Сделайте двойной щелчок мышью по накопителю, из которого поток вытекает (PotentialAdopters), а затем щелкните по тому накопителю, в который он втекает (Adopters).

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.



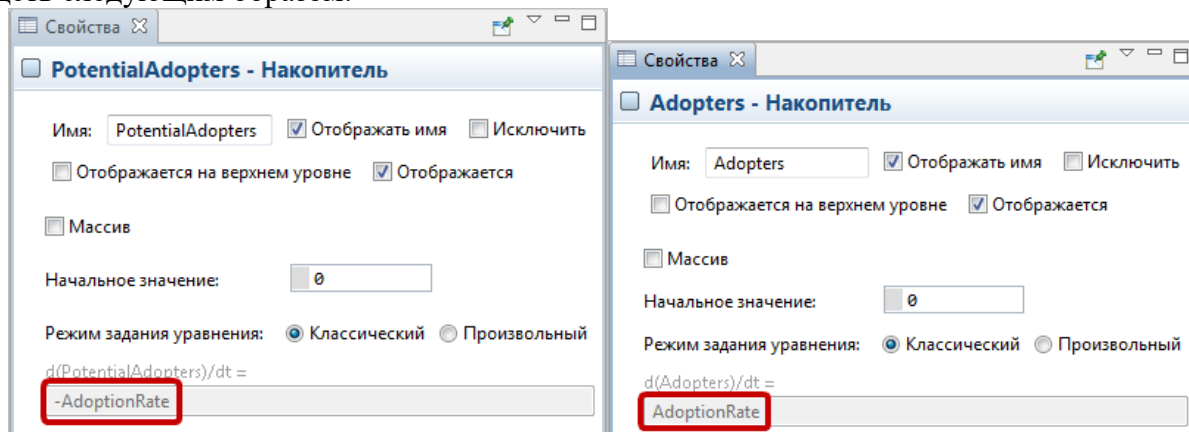
- Выделите стрелку созданного потока в графическом редакторе и измените имя потока на AdoptionRate (Процесс покупки).

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.

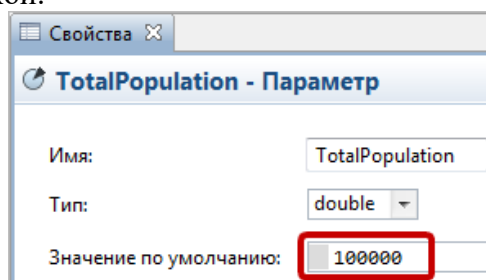
Формулу, согласно которой будет вычисляться значение потока, мы зададим чуть позднее.

### 5. Задание констант

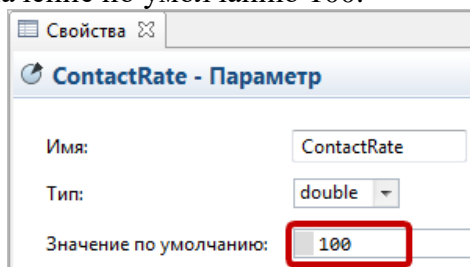
- Создайте константу, задающую общую численность населения. Перетащите элемент Параметр из палитры Системная динамика на диаграмму типа агентов. В панели Свойства задайте свойства этого параметра:

а) измените имя параметра. Введите TotalPopulation в поле Имя.

б) 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**

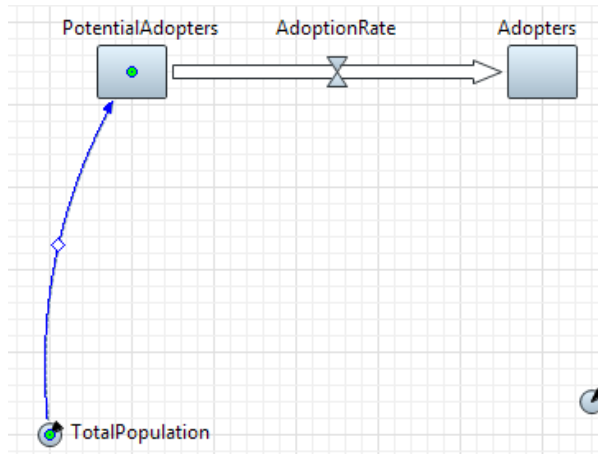
Имя: AdoptionFraction

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.



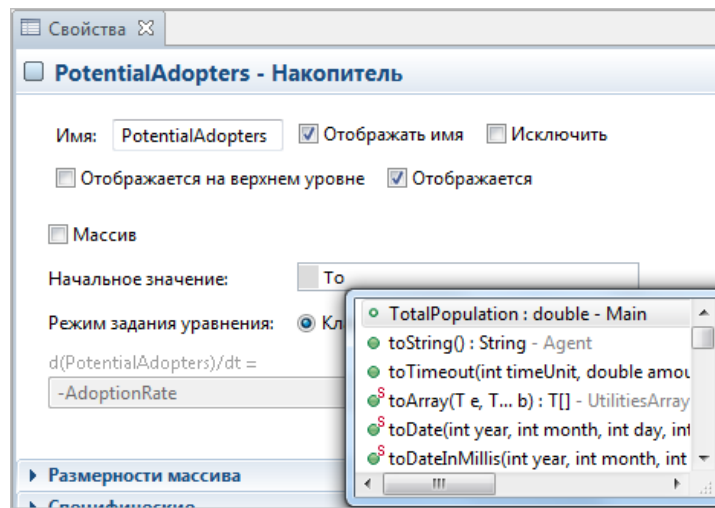
Когда Вы указываете какой-либо элемент в выражении начального значения накопителя, Вы должны вначале соединить этот элемент с накопителем с помощью связи. Связь позволяет явно задавать существующие зависимости между элементами диаграммы потоков и накопителей.

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

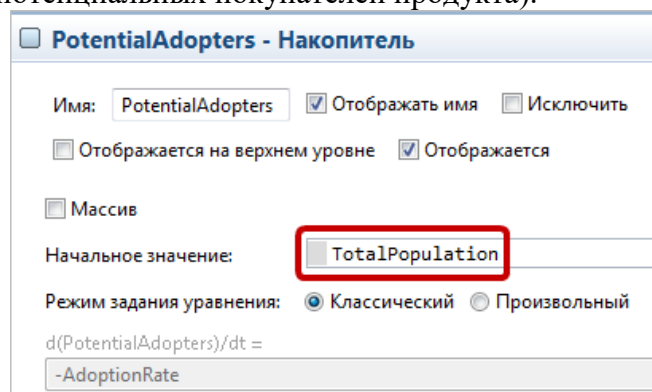
- Задайте начальное количество потенциальных потребителей продукта

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

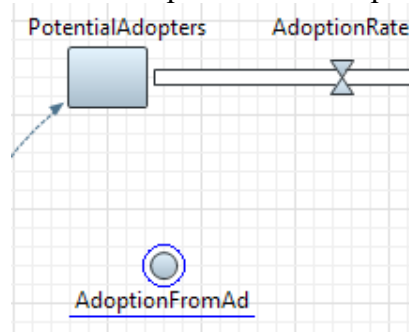
Нам нужно создать две динамические переменные, которые будут соответствовать двум составляющим потока приобретения продукта:

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.



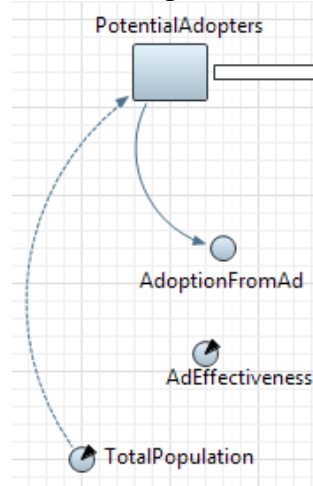
Задайте формулу для этой динамической переменной.

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



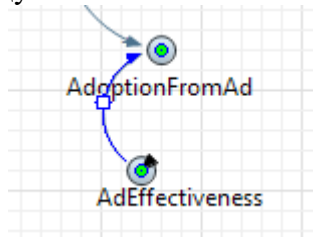
Опять, как и в случае составления выражения начального значения накопителя, когда какая-либо переменная задействована в формуле динамической переменной или потока, между этими переменными должна существовать связь.

- 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).



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  $Adopters * ContactRate$ .

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  $Adopters * ContactRate * AdoptionFraction$ .

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:  $PotentialAdopters / TotalPopulation$ .

В итоге формула будет выглядеть следующим образом:

$Adopters * ContactRate * AdoptionFraction * PotentialAdopters / TotalPopulation$

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:

$ContactRate * AdoptionFraction * PotentialAdopters * Adopters / TotalPopulation$



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:





- 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.

Полярность: ☐ Нет ☐ + ☒ - ☐ s ☐ o

Цвет:

Толщина линии:

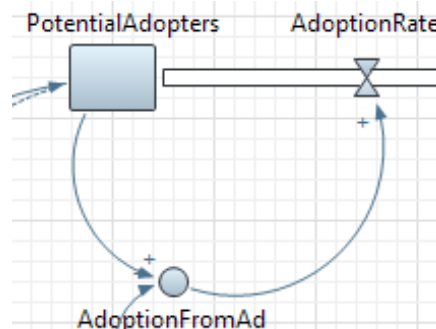
☐ Задержка

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

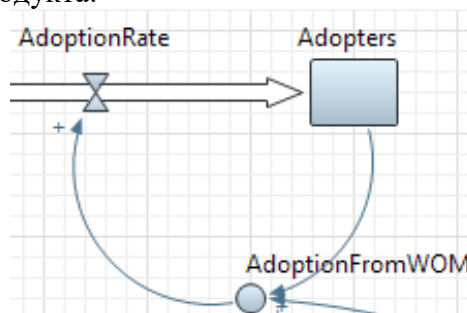


Можно увидеть, что созданная модель содержит два цикла с обратной связью: один компенсирующий и один усиливающий.


- *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.

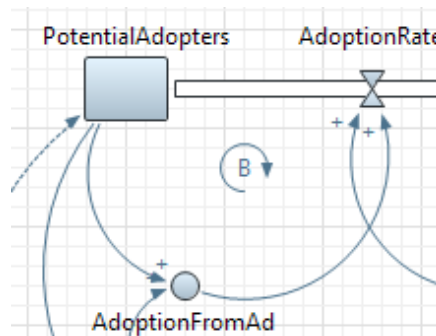


- *Усиливающий цикл с обратной связью* воздействует на поток приобретения продукта, вызванный общением с потребителями продукта. Поток приобретения продукта увеличивает численность потребителей продукта, что приводит к росту интенсивности приобретения продукта под влиянием общения с потребителями продукта,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



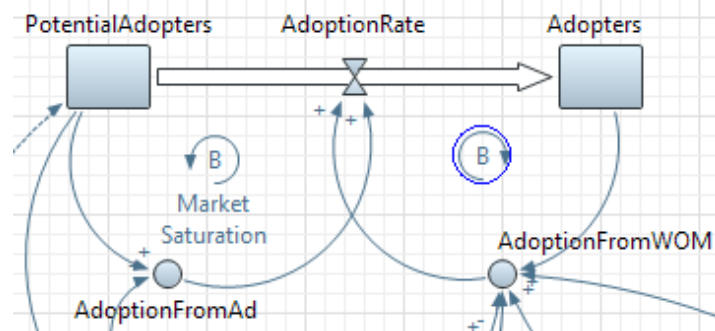
Чтобы определить, является ли цикл усиливающим или уравнивающим, Вы можете начать с предположения, что, например значение переменной A увеличивается, и проследить за изменением значений входящих в цикл переменных.

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:

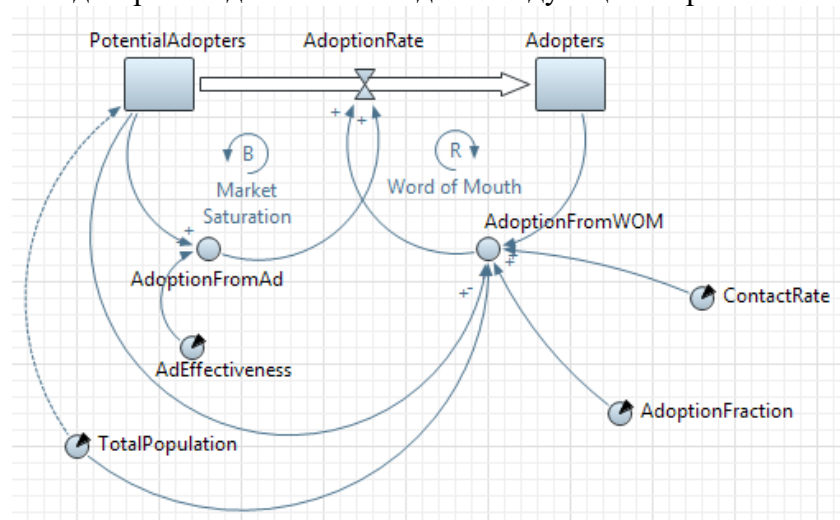


Этот цикл соответствует общению людей друг с другом. Он является усиливающим, поэтому выберите для него символ R (обозначающий усиливающий, *Reinforcing* цикл)

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:

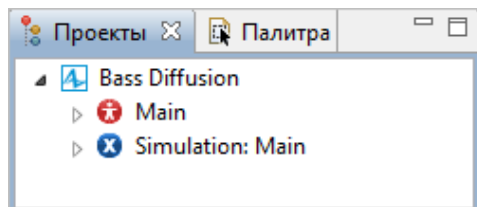


## 9. Настройка запуска модели



Вы можете сконфигурировать выполнение модели в соответствии с Вашими требованиями. Модель выполняется в соответствии с набором установок, задаваемым специальным элементом модели - *экспериментом*. Вы можете создать несколько экспериментов с различными установками и изменять рабочую конфигурацию модели, просто запуская тот или иной эксперимент модели.

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.



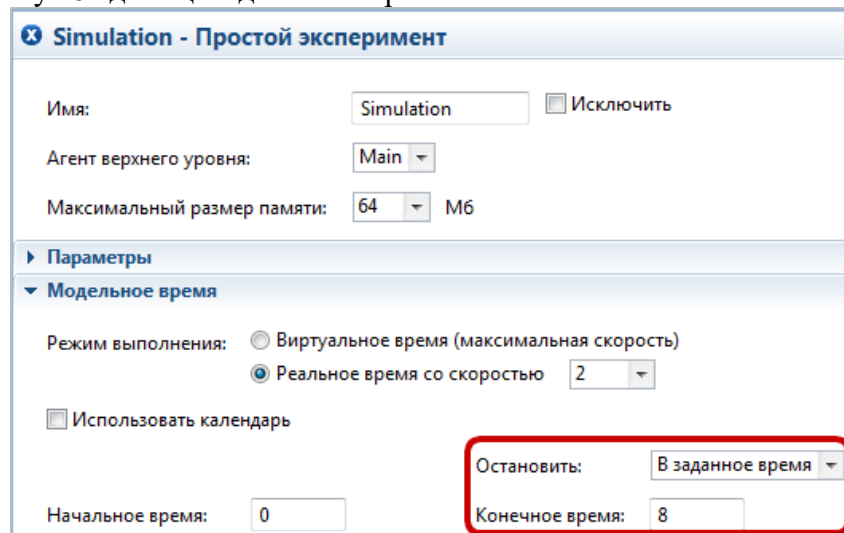
Существуют также и другие типы экспериментов (оптимизационный эксперимент, эксперимент для оценки рисков, эксперимент для варьирования параметров), которые используются в тех случаях, когда параметры модели играют существенную роль, и требуется проанализировать, как они влияют на поведение модели, или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

**Simulation - Простой эксперимент**

Имя:  ☐ Исключить

Агент верхнего уровня:

Максимальный размер памяти:  Мб

Параметры

Модельное время

Режим выполнения: ☐ Виртуальное время (максимальная скорость) ☒ Реальное время со скоростью

☐ Использовать календарь

- 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.

**Main - Тип агента**

Имя:  ☐ Исключить

Предв. просмотр параметров

Действия агента

Агент в диаграмме процесса

Движение

Пространство и сеть

Java для экспертов

Специфические

Родительский класс:

☒ Создать область просмотра в начале координат

☒ Создавать наборы данных для динамических переменных

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.

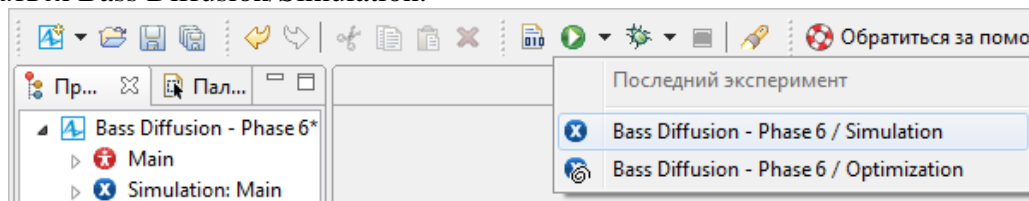
Ошибки		
Ошибок: 2		
	Описание	Местоположен
✖	Соединенная связью переменная ContactRate ...	Bass Diffusion -
✖	Соединенная связью переменная AdoptionFra...	Bass Diffusion -



Панель Ошибки

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

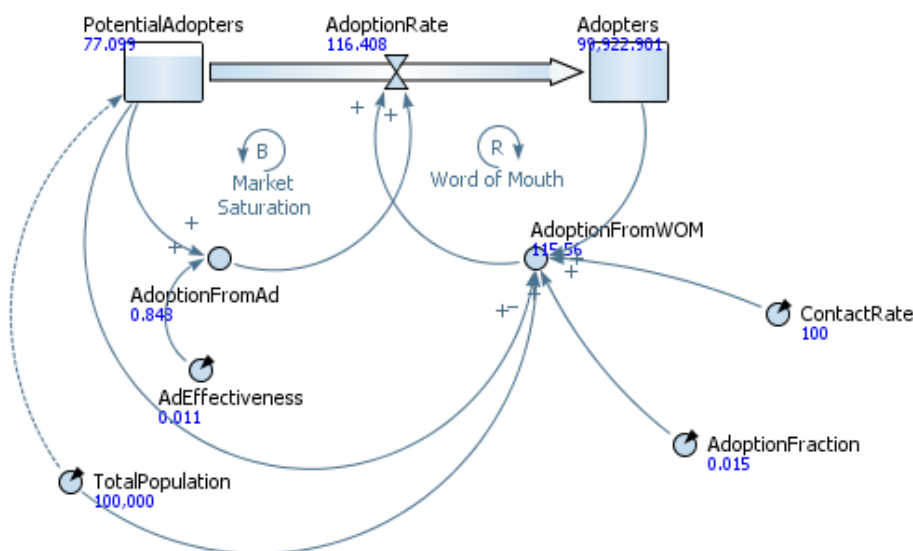
- Запустите модель

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

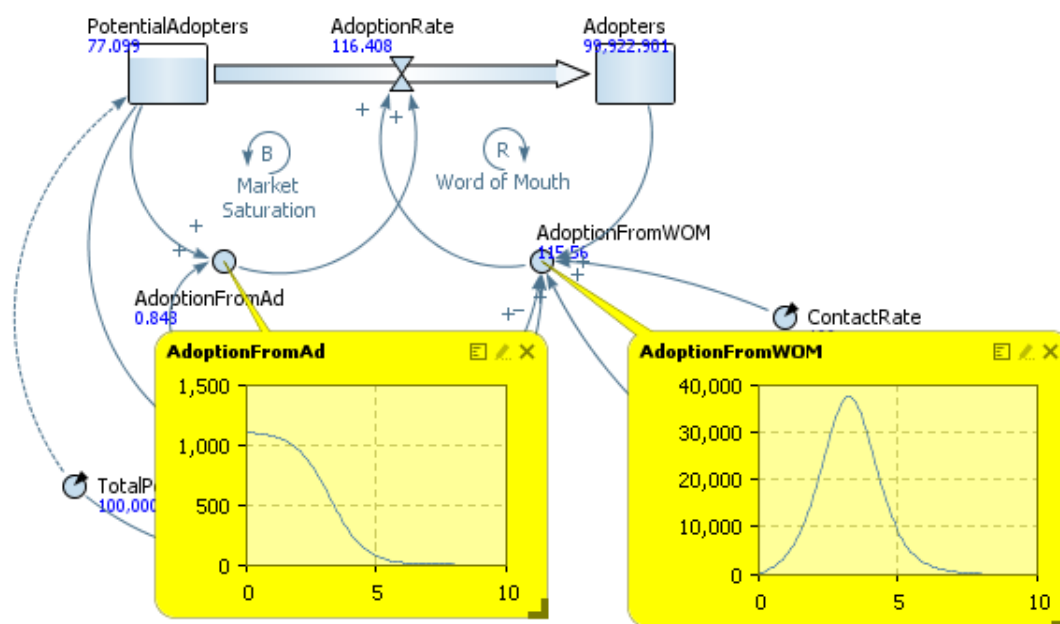
Щелкните мышью по переменной AdoptionFromAd в окне презентации. Появится желтое окошко - окно «инспекта». При желании Вы можете передвинуть это окно, перетаскив его мышью за заголовок. Изменить размер можно перетаскив мышью нижний правый угол окна.

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

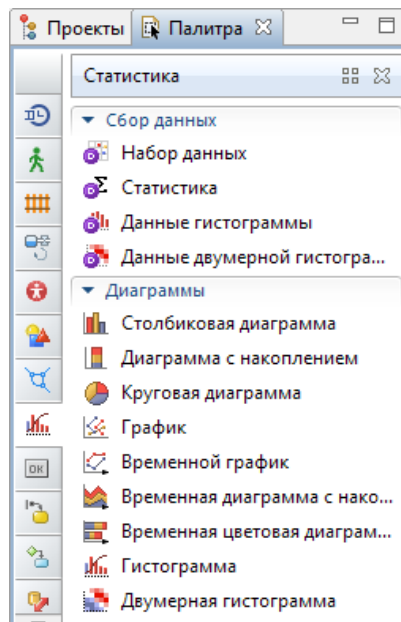


Как мы уже отмечали ранее, AnyLogic поддерживает различные инструменты для сбора, отображения и анализа данных во время выполнения модели. Простейшим способом просмотра истории изменения значений переменной во время выполнения модели является использование окна инспекта. Для более тщательной визуализации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

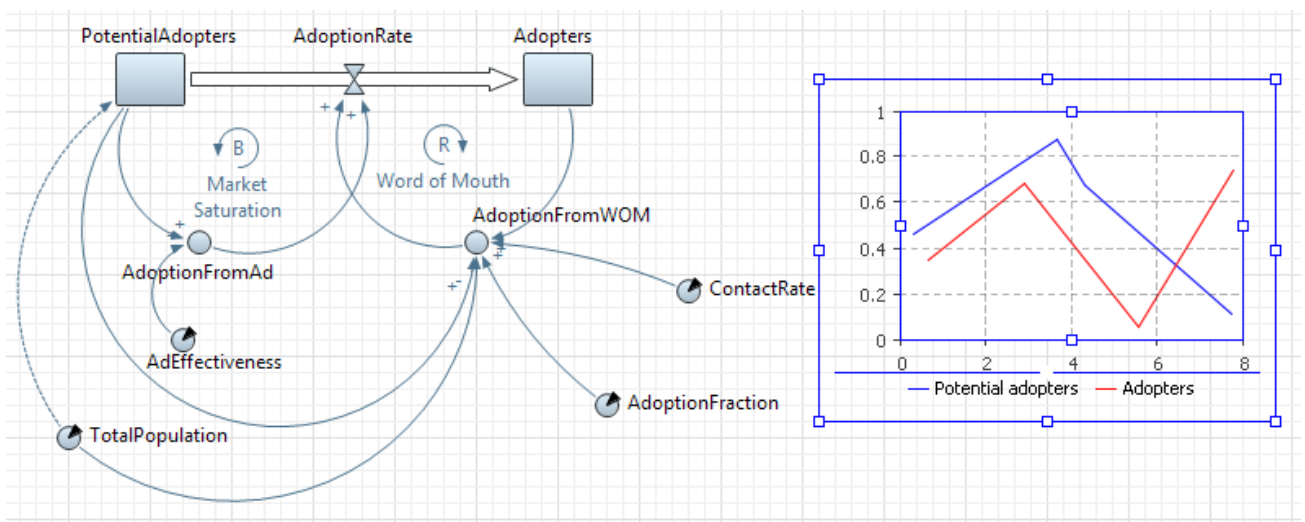
Давайте добавим диаграммы, с помощью которых мы будем изучать, как изменяются со временем численности потребителей и потенциальных потребителей продукта, а также как изменяется интенсивность продаж продукта.





- 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)

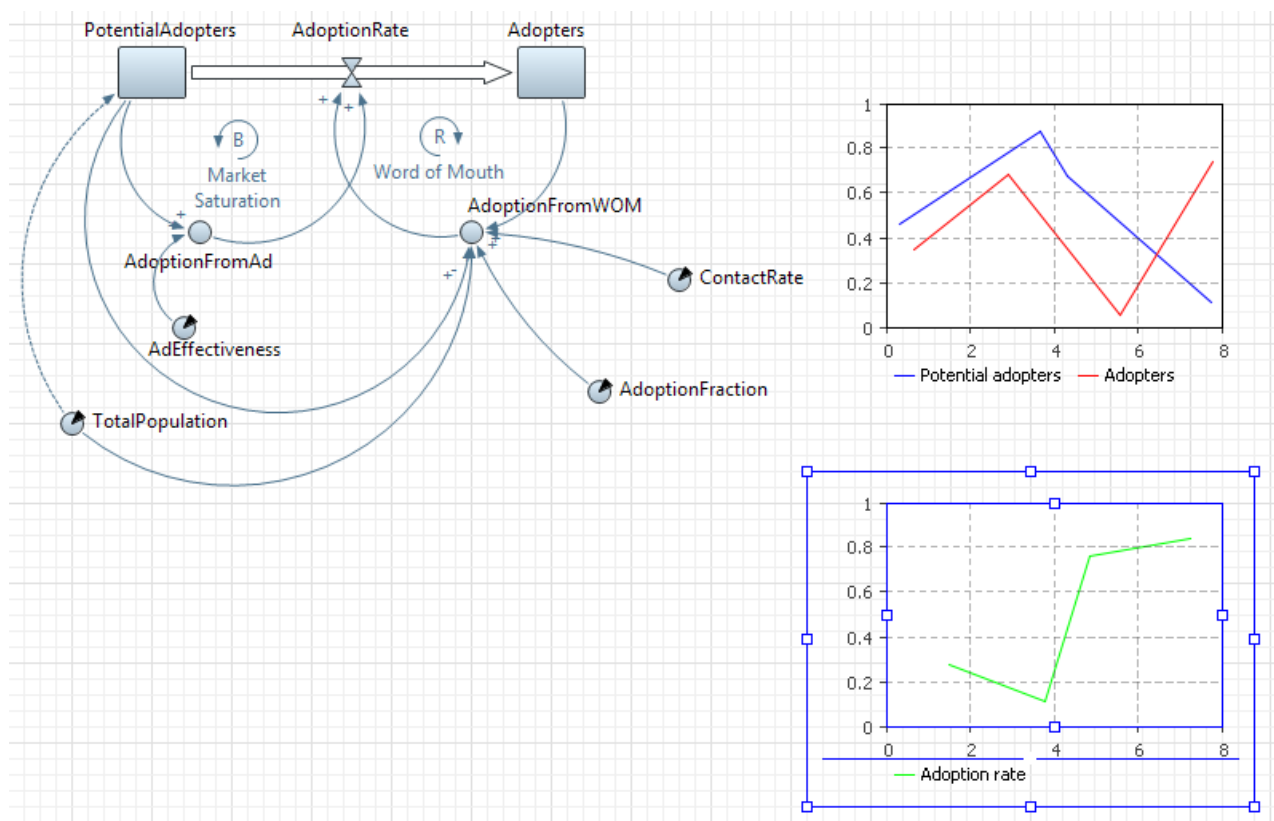
▼ Масштаб

Временной диапазон:

Вертикальная шкала: ☒ Авто ☐ Фиксированный

- Добавьте график, отображающий изменение интенсивности продаж

Добавьте на 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: plot1 ☐ Исключить ☒ Отображается на верхнем уровне

▼ Данные

☒ Значение ☐ Набор данных Заголовок: Adoption rate

Значение: AdoptionRate

Стиль маркера:  Толщина линии: 1

Цвет: lime

▼ Обновление данных

☒ Обновлять данные автоматически ☐ Не обновлять данные автоматически

Период: 0.1

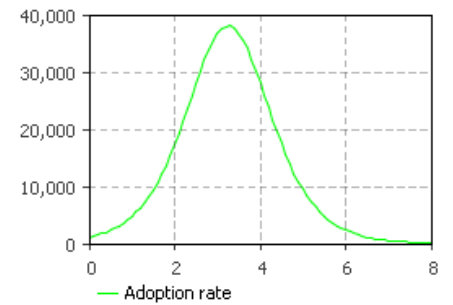
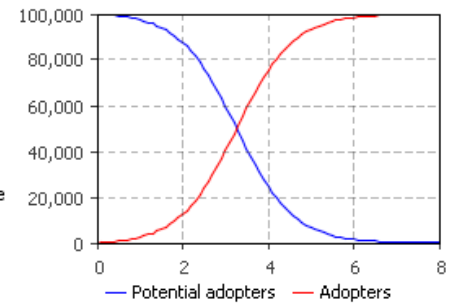
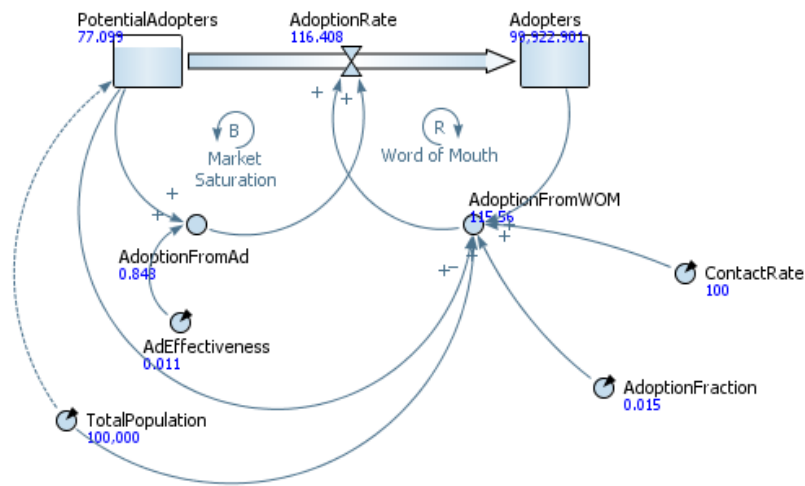
Display up to 100 latest samples (applies to "Value" data items only)

▼ Масштаб

Временной диапазон: 8

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 3.1 - Индивидуальные исходные данные для выполнения лабораторной работы 3.1

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЦИКЛИЧНОСТИ СПРОСА НА ПРОДУКТ И СТРАТЕГИИ РЕКЛАМНОЙ КАМПАНИИ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СРЕДЕ ANYLOGIC**

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

В среде Anylogic добавить, в созданную в лабораторной работе № 3.1 модель распространения нового продукта, процесс повторных покупок и смоделировать стратегию рекламной кампании для достижения необходимых целей, указанных в индивидуальных исходных данных.

По номеру варианта, выданному преподавателем провести анализ продаж нового продукта в магазине:

- изучить динамику изменения численностей потребителей и потенциальных потребителей нового продукта;
- изучить различные составляющие потока повторных покупок и их влияние на результат продаж нового продукта;
- изучить интенсивность приобретения нового продукта при изменяющемся спросе;
- изучить стратегию рекламной кампании, продаваемого продукта с учетом ежемесячных расходов на рекламу и длительности рекламной кампании;
- найти оптимальную рыночную стратегию для достижения требуемого количества потребителей к определенному моменту времени при минимальных затратах на рекламу, используя специальные возможности среды Anylogic – «Оптимизационный эксперимент»;
- **сделать выводы о том: какие параметры и переменные влияют на интенсивность процесса продажи нового продукта; сколько лет необходимо проводить рекламную кампанию и какие требуются для этого ежемесячные расходы.**

Индивидуальные исходные данные приведены в таблице 3.2 и выбираются согласно номеру варианта, выданному преподавателем.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:**

1. Создать копию файла с моделью распространения нового продукта, созданную в лабораторной работе № 3.1, для дальнейшей работы.

2. Смоделировать процесс повторных покупок, полагая, что потребители продукта снова становятся потенциальными потребителями, когда продукт, который они приобрели, приходит в негодность, на основе модели распространения нового продукта.

3. Создать цикличность спроса на продаваемый продукт, указанный в индивидуальных исходных данных согласно варианту (см. табл. 3.2), и смоделировать влияние меняющегося спроса на интенсивность приобретения данного продукта.

**Необходимо самостоятельно подобрать экспериментальные табличные данные (в пределах от 1 до 15) исходя из собственных предположений о том, в какой месяц каким средним спросом пользуется продаваемый продукт в течение года! Считать, что минимальному спросу соответствует 1, максимальному – 15.**

4. Смоделировать стратегию рекламной кампании продаваемого продукта с учетом ежемесячных расходов на рекламу (см. табл. 3.2).

5. Смоделировать плана рекламной кампании, с указанной длительностью лет (см. табл. 3.2), с помощью диаграммы состояний среды Anylogic. Запустить модель и убедиться, что рекламная кампания длится нужное количество лет.

6. По результатам работы имитационной модели определить сколько людей приобрело продукт за указанное в задании количество лет продажи продукта (см. табл. 3.2).

7. Провести оптимизацию рекламной стратегии, т.е. найти оптимальную рыночную стратегию для достижения требуемого количества потребителей к определенному моменту времени при минимальных затратах на рекламу. Индивидуальные исходные данные для проведения оптимизационного эксперимента указаны в таблице 3.2 согласно варианту.

В оптимизационном эксперименте отразить:

- общую численность населения (TotalPopulation);
- частоту, с которой потенциальные потребители общаются с потребителями (ContactRate).



- срок службы продукта (ProductLifeTime);
- длительность рекламной кампании (SwitchTime)
- ежемесячные расходы на рекламу (MonthlyExpenditures)
- общие расходы, потраченные на рекламу (TotalExpenditures);
- количество пользователей продукта, которые приобрели его во время рекламной кампании (Adopters).

8. Скорректировать и запустить имитационную модель с учетом найденных оптимальных параметров: ежемесячных расходов на рекламу (MonthlyExpenditures) и длительности рекламной кампании (SwitchTime). Убедиться, что к заданному времени (SwitchTime) достигается требуемое количество пользователей продукта (Adopters).

9. Сделать вывод о влиянии рекламной кампании на повторную продажу нового продукта.

## РАБОТА В СРЕДЕ ANYLOGIC

### 1. Моделирование повторных покупок

Созданная в лабораторной работе 3.1. модель не учитывает того, что со временем продукт может быть израсходован или прийти в негодность, что вызовет необходимость его повторного приобретения. Смоделируем повторные покупки, полагая, что потребители продукта снова становятся потенциальными потребителями, когда продукт, который они приобрели, становится непригоден.



а) Создайте константу ProductLifeTime (Срок службы продукта)

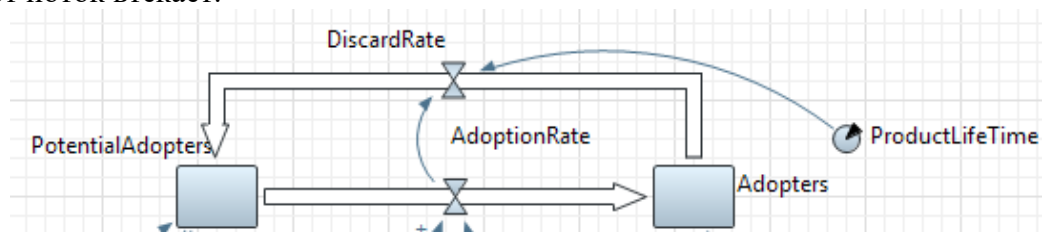
Вначале мы определим константу, задающую среднее время жизни продукта. Пусть средняя продолжительность использования продаваемого продукта равна двум годам. Введите Значение по умолчанию 2.

The image shows a dialog box titled "ProductLifeTime - Параметр". It contains three fields: "Имя:" (Name) with the value "ProductLifeTime", "Тип:" (Type) with a dropdown menu showing "double", and "Значение по умолчанию:" (Default value) with a text box containing the number "2".

б) Создайте поток прекращения использования продукта, ведущий из Adopters в PotentialAdopters

Потребители продукта снова становятся потенциальными потребителями тогда, когда продукт, который они приобрели, расходуется и перестает использоваться. Поэтому поток прекращения использования продукта является ничем иным, как потоком приобретения, задержанным на среднее время пригодности продукта.

- Если нарисовать новый поток прямой стрелкой, ведущей от Adopters к PotentialAdopters, то этот поток будет нарисован поверх стрелки существующего потока AdoptionRate. Поэтому нарисуйте поток более сложной формы (см. рисунок ниже). Для этого используем другой, более подходящий для данного случая, способ рисования потоков. Сделайте двойной щелчок по элементу  **Поток** в палитре **Системная динамика**. Значок элемента при этом должен смениться на следующий: . Сразу после этого щелкните мышью по накопителю Adopters, потом щелкните в промежуточных точках изгиба стрелки потока, и завершите рисование потока, сделав двойной щелчок по накопителю PotentialAdopters, в который этот поток втекает.



- Назовите поток DiscardRate (Поток повторных покупок). Формулы накопителей после этого должны будут выглядеть следующим образом:

☐ PotentialAdopters - Накопитель

Имя: PotentialAdopters ☒ Отображать имя ☐ Исключить  
☐ Отображается на верхнем уровне ☒ Отображается  
☐ Массив  
Начальное значение: TotalPopula  
Режим задания уравнения: ☒ Классический ☐ Произвольный  
 $d(\text{PotentialAdopters})/dt =$   

DiscardRate - AdoptionRate

☐ Adopters - Накопитель

Имя: Adopters ☒ Отображать имя ☐ Исключить  
☐ Отображается на верхнем уровне ☒ Отображается  
☐ Массив  
Начальное значение:   
Режим задания уравнения: ☒ Классический ☐ Произвольный  
 $d(\text{Adopters})/dt =$   


AdoptionRate - DiscardRate

- Задайте следующую формулу для потока DiscardRate:  $\text{delay}(\text{AdoptionRate}, \text{ProductLifeTime})$


☒ DiscardRate - Поток

Имя: DiscardRate ☒ Отображать имя ☐ Исключить  
☐ Отображается на верхнем уровне ☒ Отображается  
☐ Массив ☐ Зависимая ☐ Константа  
DiscardRate =  

delay(AdoptionRate, ProductLifeTime)

 Функция  $\text{delay}()$  реализует временную задержку; она имеет следующую нотацию:  $\text{delay}(\langle \text{задерживаемый поток} \rangle, \langle \text{значение задержки} \rangle, \langle \text{начальное значение} \rangle)$ .

В нашем случае функция представляет собой AdoptionRate с временной задержкой ProductLifeTime. Пока не истекло время использования первого приобретенного продукта, поток равен нулю.

 Как и во всех других аналогичных случаях, написание такой формулы потребует добавления ссылок от переменных AdoptionRate и ProductLifeTime к потоку DiscardRate.

в) Добавьте на нижний график новый элемент данных, отображающий динамику изменения интенсивности DiscardRate

Проверить работу функции задержки проще всего с помощью диаграммы. Для этого добавим на график, отображающий динамику изменения интенсивности продаж, и другую интенсивность - интенсивность отказа от продукта, определяемую созданным потоком DiscardRate.

- Добавьте на нижний график еще один элемент данных, аналогично тому, как вы это делали в лабораторной работе 3.1. Задайте свойства этого элемента, как показано на рисунке:

☒ plot1 - Временной график

Имя: plot1 ☐ Исключить ☒ Отображается на верхнем уровне

☒ Значение
 ☐ Набор данных
 Заголовок: Adoption rate

Значение: AdoptionRate

Стиль маркера:   
Цвет: lime

Толщина линии: 1

☒ Значение
 ☐ Набор данных
 Заголовок: Discard rate

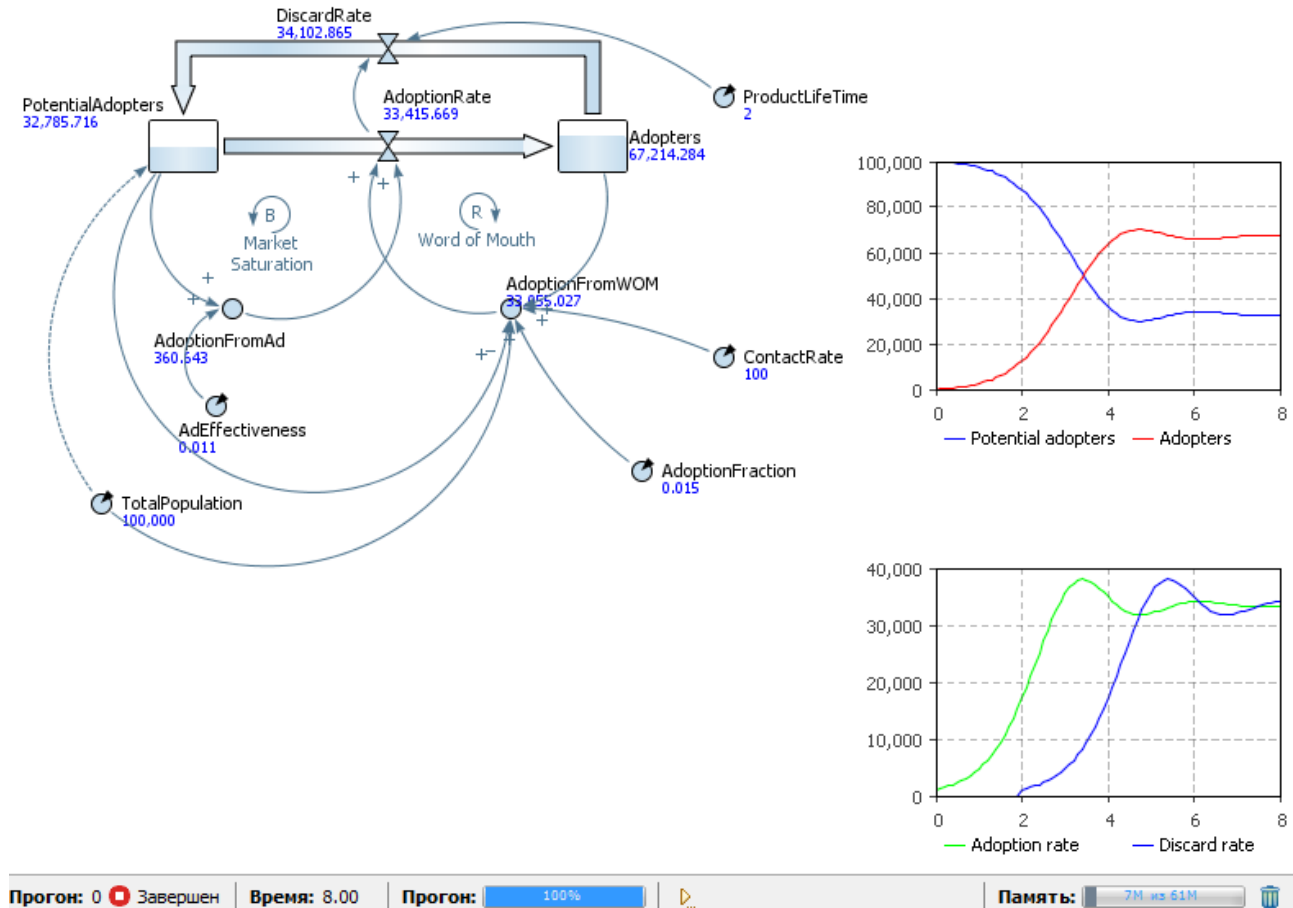
Значение: DiscardRate

Стиль маркера:   
Толщина линии: 1

Процесс моделирование повторных покупок продукта закончен.

г) Проверка работы функция задержки.

- Запустите модель и исследуйте графики переменных AdoptionRate и DiscardRate. Вы сможете увидеть, что график потока прекращения использования продукта имеет именно тот вид, который мы и предполагали увидеть - он является ничем иным, как потоком приобретения продукта, задержанным на 2 года - время пригодности продукта.



## 2. Моделирование цикличности спроса

В текущей модели доля контактов потребителей продукта с потенциальными потребителями, которая приводит к продажам продукта, полагается постоянной. На самом деле она изменяется, поскольку спрос на продаваемый продукт зависит от текущего времени года. Предположим, что продаваемый продукт пользуется наибольшим спросом летом, в то время как зимой спрос на товар резко падает, за исключением небольшого предпраздничного периода в декабре. Давайте и промоделируем теперь сезонную цикличность спроса.

### а) Добавление экспериментальных данных

Предположим, что у нас есть экспериментальные данные того, как изменяется средний спрос на продукт в течение года. Добавим эти данные в модель с помощью табличной функции.



Табличная функция – это функция, заданная в табличной форме, которая может быть сделана непрерывной с помощью интерполяции и экстраполяции.

Задайте кривую спроса с помощью табличной функции:

- перетащите элемент **Табличная функция** из палитры **Системная динамика** на диаграмму класса *Main*. Назовите функцию demand.

- задайте данные табличной функции в секции **Табличные данные** панели свойств функции. Каждая пара "аргумент-значение" задается в отдельной строке таблицы. Чтобы задать новую пару значений, щелкните мышью в пустой ячейке **Аргумент** и введите новый аргумент функции. Затем щелкните в соседней ячейке **Значение** справа и введите значение функции, соответствующее этому аргументу. Задайте следующие данные:

**demand - Табличная функция**

Имя:  ☒ Отображать имя ☐ Исключить ☒ Отображается

Интерполяция:

Если аргумент выходит за пределы:

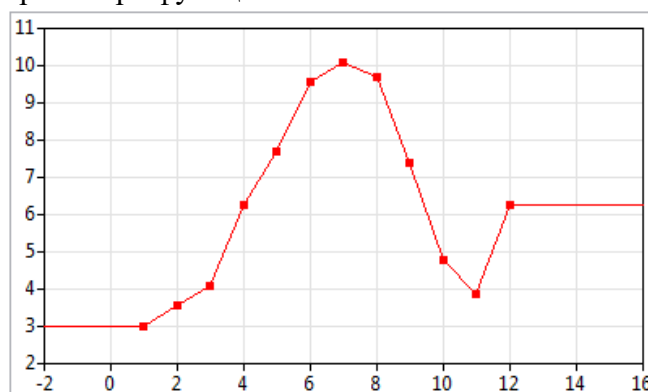
▼ Табличные данные

Аргумент	Значение
1	3
2	3.6
3	4.1
4	6.3
5	7.7
6	9.6
7	10.1
8	9.7
9	7.4
10	4.8
11	3.9
12	6.3

- задайте тип интерполяции. Выберите **Линейная** из выпадающего списка **Интерполяция**. Интерполяция будет производиться соединением табличных точек прямыми линиями.

- задайте тип реакции на аргументы, лежащие за пределами области допустимых значений функции. Выберите **Ближайший** из выпадающего списка **Если аргумент выходит за пределы**. В случае вызова функции с аргументом, лежащим за пределами интервала заданных значений, будет использоваться ближайший заданный аргумент функции.

- закончив задание функции, посмотрите, как она выглядит, с помощью графика в секции предварительного просмотра функции:



### 3. Моделирование влияния меняющегося спроса на интенсивность приобретения продукта

Теперь промоделируем то, как спрос на продукт влияет на количество людей, приобретающих продукт под влиянием общения с владельцами продукта. Для этого мы создадим специальную функцию `adoptFraction` и заменим параметр `AdoptionFraction` вспомогательной переменной `AdoptionFraction`, значение которой будет вычисляться согласно этой функции.

а) Задайте функцию:

- перетащите элемент **Функция** из палитры **Основная** на диаграмму типа *Main*. Назовите функцию `adoptFraction`. Функция будет возвращать вещественное значение, поэтому выберите **double** из выпадающего списка **Тип возвращаемого значения**.

- у функции должен быть один аргумент, с помощью которого ей будет передаваться текущее значение времени. Добавьте в таблицу **Аргументы функции** аргумент с именем time типа **double**.

- в секции свойств **Тело функции** замените существующую строку на следующую:  
`return demand( getMonth() + 1 )/200.0;`

🔒 Функция `getMonth()` вычисляет номер текущего месяца. Этот номер передается табличной функции `demand`. Табличная функция возвращает значение спроса на продукт для данного месяца. В заключение, для получения значения доли людей, покупающих продукт под влиянием общения, значение спроса делится на коэффициент преобразования.

🔒 В JavaScript метод `getMonth()` возвращает числовое значение (0-11), которое соответствует месяцу для указанной даты по местному времени. Например, 0 - January (Январь).

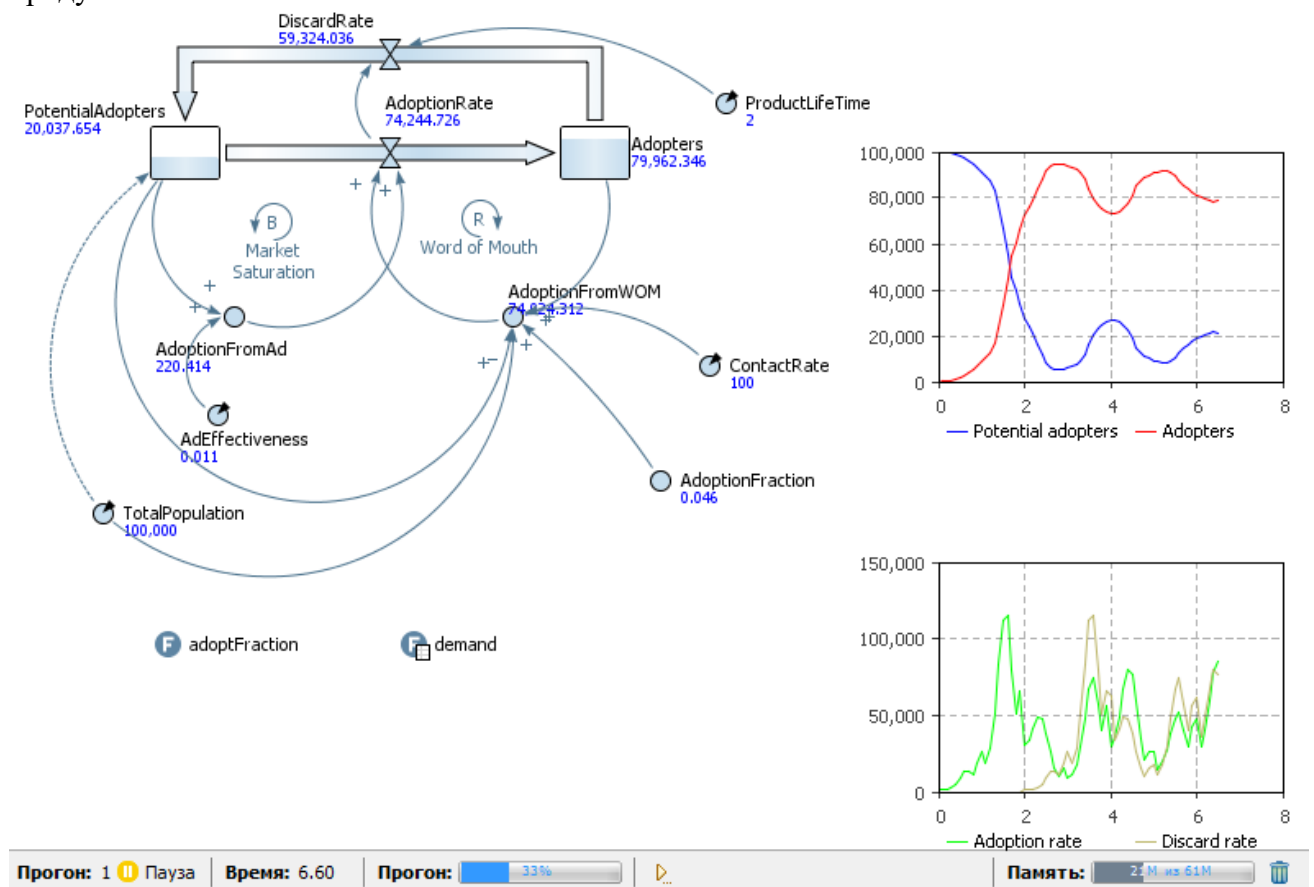
б) Замените параметр `AdoptionFraction` одноименной вспомогательной переменной, значение которой определяется созданной функцией:

- удалите параметр `AdoptionFraction`.
- добавьте вспомогательную переменную `AdoptionFraction`. Задайте в качестве формулы переменной `adoptFraction(time())`. Таким образом, значение переменной будет вычисляться согласно созданной функции. Функция принимает один аргумент, `time()`.

🔒 Функция `time()` возвращает текущее значение модельного времени.

в) Запустите модель.

Вы увидите, что поведение модели колеблется около точки равновесия в силу того, что теперь колеблются значения и потока приобретения, и потока прекращения использования продукта.



Теперь численность потенциальных потребителей не уменьшается до нуля, а постоянно пополняется по мере того, как потребители заново покупают продукты взамен непригодных. Интенсивность приобретения продукта растет, падает, и в итоге принимает какое-то значение, зависящее от средней жизни продукта и параметров, определяющих интенсивность этого

потока. Наличие в модели прекращения использования продукта означает, что какая-то доля населения всегда будет оставаться потенциальными потребителями.

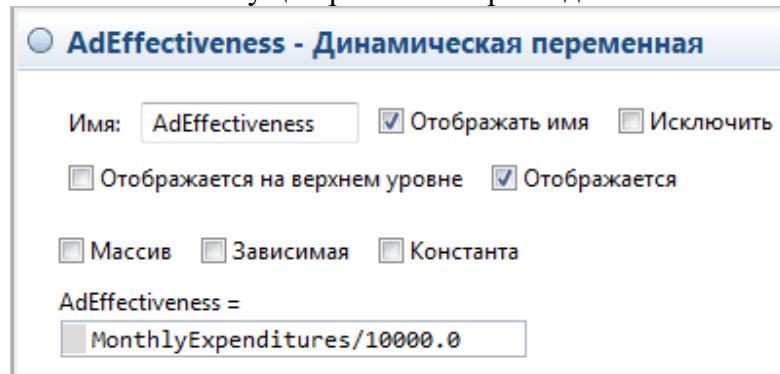
#### 4. Моделирование стратегии рекламной кампании

На данный момент эффективность рекламы в созданной модели полагается постоянной. На самом деле, она зависит от текущих расходов компании на рекламу. Улучшим модель, чтобы иметь возможность управлять расходами на рекламную кампанию. Изменяя месячные расходы на рекламу, мы сможем повлиять на текущую эффективность рекламы.

а) Моделирование месячных расходов

- Создайте константу (параметр) MonthlyExpenditures (Ежемесячные расходы), задающую месячные расходы компании. Задайте **Значение по умолчанию**: 1100.


- Удалите параметр AdEffectiveness и создайте вспомогательную переменную AdEffectiveness с формулой:  $\text{MonthlyExpenditures}/10000.0$ . Мы полагаем, что именно так эффективность рекламы зависит от текущих рекламных расходов компании.




- Добавьте еще одну связь зависимости, ведущую от параметра MonthlyExpenditures к динамической переменной AdEffectiveness.

б) Статистика всех расходов компании, потраченных на рекламу

Для того, чтобы вести статистику всех расходов компании, создадим специальную переменную для хранения информации о том, сколько денег было потрачено на рекламу продукта. Каждый месяц будем обновлять это значение с помощью специального события, добавляя значение запланированных на предстоящий месяц расходов на рекламную кампанию продукта.

- Добавьте переменную для хранения общих расходов компании. Перетащите элемент **Переменная**  из палитры **Агент** на диаграмму типа агента Main. Назовите переменную TotalExpenditures.

- Создайте событие, которое будет обновлять значение TotalExpenditures. Перетащите элемент **Событие**  из палитры **Агент** на диаграмму типа агента Main. Назовите событие monthlyEvent.

- Сделайте так, чтобы таймер срабатывал каждый месяц. Выберите **Циклический** из выпадающего списка **Режим**. Поскольку одна единица модельного времени в нашей модели соответствует одному году, то одному месяцу будет соответствовать выражение 1.0/12.0. Введите 1.0/12 в поле **Таймаут**.

- Задайте **Действие** события:  $\text{TotalExpenditures} += \text{MonthlyExpenditures}$ ;

Этот код будет выполняться каждый раз по истечении таймута события. Он выполняет сбор статистики, а именно добавляет значение запланированных рекламных расходов на предстоящий месяц к значению переменной TotalExpenditures.



Режим: Циклический

☒ Использовать модельное время ☐ Использовать календарные даты

Время первого срабатывания (абсолютное): 0

Время срабатывания: 16.08.2010 10:35:01

Период: 1.0/12.0 единицы мод

▼ Действие

`TotalExpenditures+=MonthlyExpenditures;`

## 5. Моделирование плана рекламной кампании

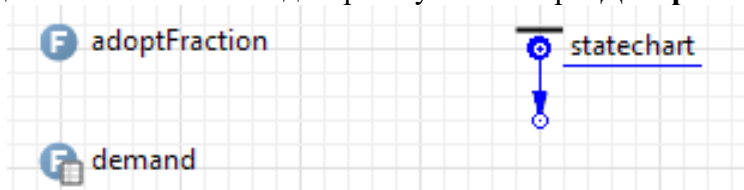
Поскольку реклама играет значительную роль только в начальной стадии процесса завоевания рынка, мы хотим в какой-то момент времени, скажем, через 3 года остановить рекламную кампанию. Этим мы сэкономим деньги, бесцельно тратящиеся на рекламу тогда, когда насыщение рынка будет определяться практически исключительно покупками продукта, вызванными общением потребителей с потенциальными потребителями.

а) **Добавьте константу (параметр) SwitchTime, задающую время переключения.**  
 Задайте **Значение по умолчанию: 3.**

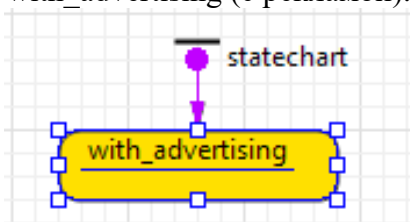
б) **Создайте диаграмму состояний для моделирования рекламной стратегии**

Теперь мы визуальным образом зададим поведение системы с помощью диаграммы состояний.

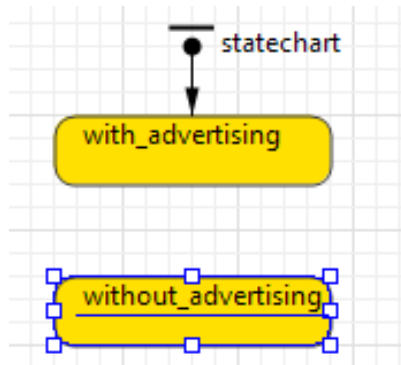
- Начните задание диаграммы состояний с добавления элемента **Начало диаграммы состояний** (перетащите этот элемент на диаграмму из палитры **Диаграмма состояний**).



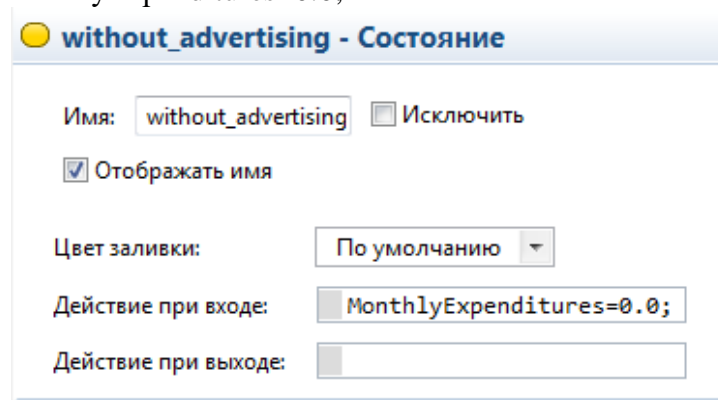
- Добавьте состояние. Перетащите элемент **Состояние** из палитры **Диаграмма состояний** так, чтобы состояние присоединилось к добавленному ранее элементу (см. рисунок ниже). Измените имя состояния на **with\_advertising** (с рекламой).



- Добавьте еще одно состояние под только что созданным. Назовите его **without\_advertising** (без рекламы).

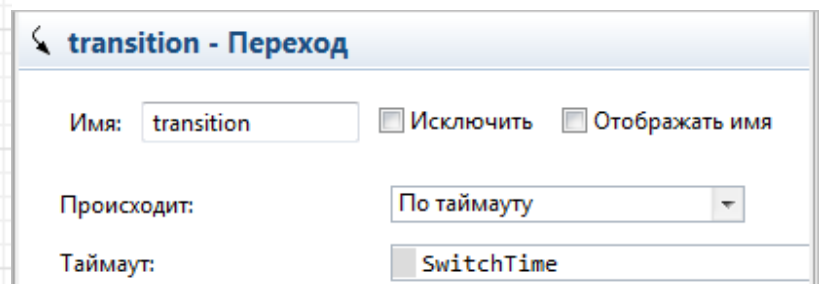
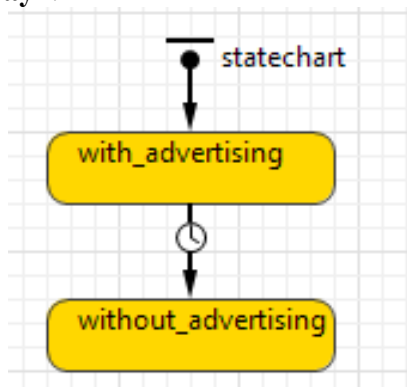


- Нам нужно остановить рекламную кампанию в тот момент, когда диаграмма состояний войдет в это состояние (без рекламы). Поэтому напишите в поле свойства **Действие при входе** этого состояния `MonthlyExpenditures=0.0;`



- Добавьте переход, ведущий из состояния `with_advertising` в состояние `without_advertising`. Сделайте двойной щелчок мышью по элементу **Переход** в палитре **Диаграмма состояний**. Затем нарисуйте переход, ведущий из состояния `with_advertising` в состояние `without_advertising`, щелкнув по границе верхнего состояния, а затем по границе нижнего состояния.

Укажите, что этот переход произойдет по истечении времени `SwitchTime`. Для этого выберите **По таймауту** из выпадающего списка **Происходит** и введите `SwitchTime` в поле **Таймаут**.



⚠ Теперь, когда диаграмма состояний находится в начальном состоянии `with_advertising`, рекламные расходы фирмы определяются переменной `MonthlyExpenditures`. Как только диаграмма состояний покидает это состояние в момент времени `SwitchTime`, фирма перестает рекламировать продукт.

в) Запустите модель и убедитесь, что рекламная кампания длится теперь только три года.

## 6. Оптимизация рекламной стратегии

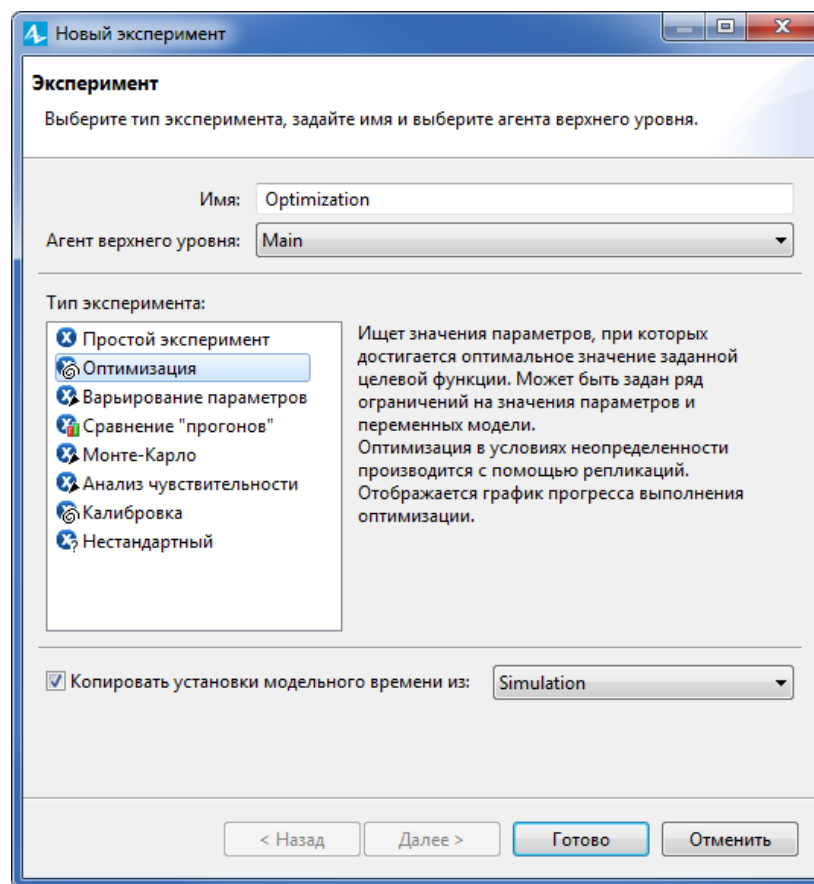
Рыночная стратегия в данной модели предельно проста: в определенный момент времени фирма прекращает рекламировать продукт.

Мы же хотим найти оптимальную рыночную стратегию для достижения требуемого количества потребителей к определенному моменту времени при минимальных затратах на рекламу.

Решить эту проблему можно, используя оптимизацию, при которой выбранные параметры модели будут систематически изменяться для минимизации или максимизации значения целевого функционала.

а) Создайте оптимизационный эксперимент:

- В панели **Проекты** щелкните правой кнопкой мыши по элементу модели и выберите **Создать --> Эксперимент** из контекстного меню. Откроется диалоговое окно **Новый эксперимент**. Выберите **Оптимизация** из списка **Тип эксперимента** и нажмите **Готово**.



Вы увидите, что в модели будет создан еще один эксперимент, а в графическом редакторе будет открыта его диаграмма.



Мы будем оптимизировать значения параметров *MonthlyExpenditures* и *SwitchTime*. Во время оптимизации, значения параметров модели будут систематически изменяться, чтобы найти наименьшее значение переменной *TotalExpenditures*, выбранной в качестве целевого функционала, при котором достигается насыщение рынка к заданному моменту времени.

б) Задайте оптимизационные параметры:

- Выделите оптимизационный эксперимент в панели **Проекты** и перейдите в панель **Свойства**.



Все параметры агента верхнего уровня эксперимента перечислены в таблице **Параметры**, расположенной в соответствующей секции свойств эксперимента. По умолчанию все они сделаны *фиксированными*, т.е. они не участвуют в оптимизационном процессе (их значения не меняются). Чтобы включить параметр в процесс оптимизации (то есть, разрешить варьирование его значения для поиска наилучшего значения функционала), Вам нужно выбрать в ячейке **Тип** соответствующих нужным параметрам строках таблицы другую опцию вместо *фиксированный*.

- Сконфигурируйте параметр *MonthlyExpenditures*. Выберите **непрерывный** в ячейке **Тип** строки **MonthlyExpenditures**. Задайте максимально возможное значение параметра в ячейке **Макс.** равным 10000, а **Начальное** значение равным 1000. Таким образом мы говорим оптимизатору, что параметр может принимать любые вещественные значения в интервале от 0 до 10000, а начнет оптимизатор процесс оптимизации со значения 1000.

- Сконфигурируйте параметр *SwitchTime*. Выберите **дискретный** в ячейке **Тип**, поскольку мы хотим, чтобы этот параметр принимал только значения, соответствующие определенным временным промежуткам: один месяц, два месяца и т.д. Задайте 0.0833 в ячейке **Шаг**. Это значение соответствует одному месяцу в нашей модели, так как 1 соответствует одному году, то один месяц равен  $1.0/12.0 = 0.0833$ . В ячейке **Макс.** выберите 1.5, а в ячейке **Начальное** 1.

▼ Параметры					
Параметры:					
Параметр	Тип	Значение			
		Мин.	Макс.	Шаг	Начальное
MonthlyExpenditures	непрерывный	0	10000		1000
SwitchTime	дискретный	0	1.5	0.0833	1
ProductLifeTime	фиксированный	2			
TotalPopulation	фиксированный	100000			
ContactRate	фиксированный	100			

в) Создайте интерфейс эксперимента:

- Щелкните по кнопке **Создать интерфейс** в панели свойств эксперимента.

**Optimization - Оптимизационный эксперимент**

Имя:  ☐ Исключить

Агент верхнего уровня:

Целевая функция: ☒ минимизировать ☐ максимизировать

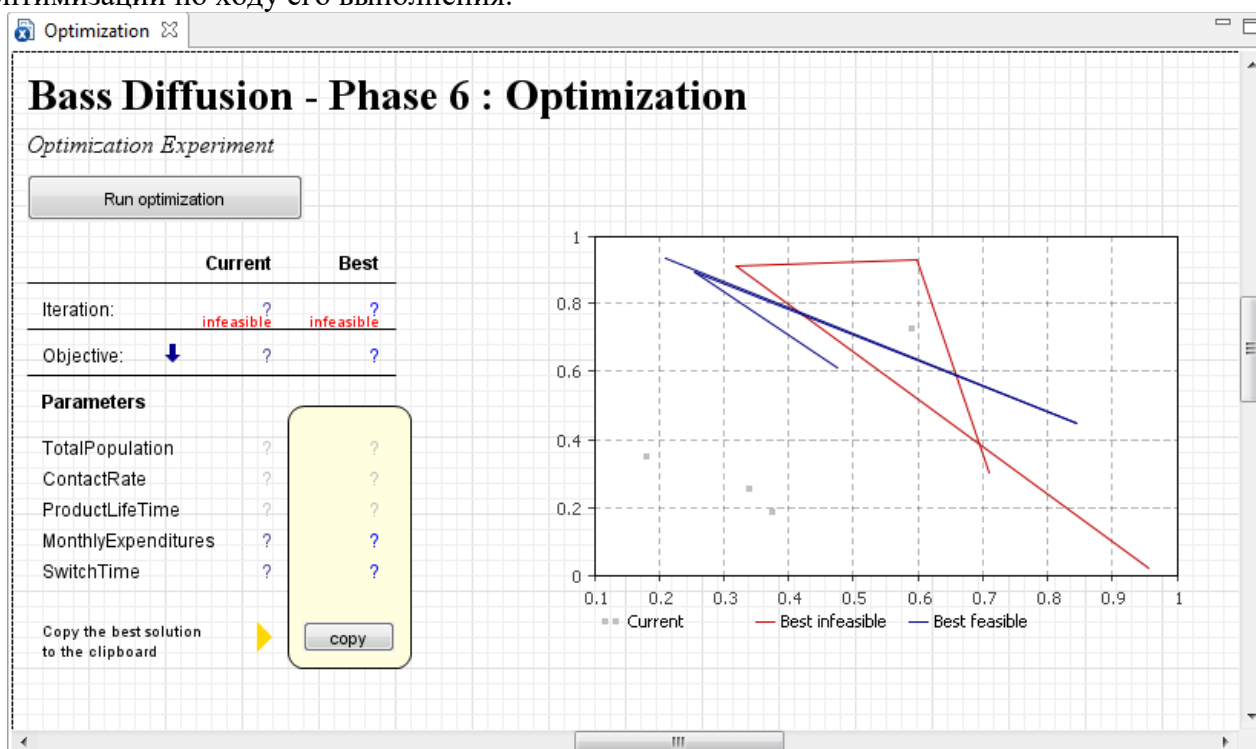
☒ Количество итераций:

☐ Автоматическая остановка

Максимальный размер памяти:  Mб

**Создать интерфейс**

Тем самым мы создадим заданный по умолчанию интерфейс для эксперимента (см. рисунок ниже) - набор элементов управления для отображения результатов процесса оптимизации по ходу его выполнения.



Обратите внимание, что создание интерфейса удаляет все содержимое диаграммы оптимизационного эксперимента, поэтому рекомендуется вначале создать предлагаемый по умолчанию интерфейс, а уже потом изменять его.

г) Задайте функционал оптимизации:

- Мы хотим минимизировать деньги, затраченные на рекламу продукта. В панели свойств эксперимента введите `root.TotalExpenditures` в поле **Целевая функция**. Здесь мы обращаемся к агенту верхнего уровня эксперимента как к переменной `root`.

- Оставьте выбранной опцию **минимизировать**.

д) Сконфигурируйте оптимизацию:

- В панели свойств эксперимента задайте максимальное количество «прогонов» модели, которое будет произведено оптимизатором. Введите 500 в поле **Количество итераций**.



Чтобы процесс оптимизации успешно выполнялся, нужно убедиться в том, что он будет заканчиваться. По умолчанию моделирование не заканчивается, поэтому оптимизатор не получит результат, который должен был получить по окончании выполнения каждого отдельного «прогона» модели. Поэтому нужно явно задать условие останова «прогона». Перейдите в секцию свойств эксперимента **Модельное время** и выберите опцию **В заданное время** из выпадающего списка **Остановить**. В поле **Конечное время** введите 1.5. Теперь «прогоны» модели будут завершаться по прошествии полутора единиц модельного времени (то есть, лет).

е) Задайте требования к оптимизационному эксперименту

Зададим дополнительное требование к результатам оптимизации, которое будет проверяться после выполнения каждого «прогона» модели. Мы хотим, чтобы по прошествии полутора лет модельного времени продукт приобрели 80000 человек.

- Выделите оптимизационный эксперимент в панели **Проекты** и перейдите в секцию свойств **Ограничения**. Задайте требование к результатам оптимизации в верхней строке таблицы **Требования (проверяются после «прогона» для определения того, допустимо ли найденное решение)**.

- Введите `root.Adopters` в ячейке **Выражение**. Корневой агент эксперимента доступен здесь по имени `root`. Выберите  $\geq$  в ячейке **Тип**. Введите 80000 в ячейке **Граница**. Наконец, установите флажок в самом левом столбце таблицы, чтобы активировать это ограничение.

Вкл.	Выражение	Тип	Граница
<input checked="" type="checkbox"/>	<code>root.Adopters</code>	$\geq$	80000.0

Задание дополнительного требования к результатам оптимизации окончено. Оно будет проверяться после каждого «прогона» модели. Если это требование не будет выполнено, то полученный в результате данного «прогона» результат будет отброшен.

ж) Запустите оптимизацию:

- Щелкните правой кнопкой мыши по оптимизационному эксперименту в панели **Проекты** и выберите **Запустить** из контекстного меню. Вы увидите окно презентации, отображающее презентацию запущенного эксперимента.

- Запустите процесс оптимизации, щелкнув по кнопке **Запустить оптимизацию** на холсте презентации эксперимента.



AnyLogic запустит модель 500 раз, изменяя значения параметров `MonthlyExpenditures` и `SwitchTime`. Итоговая информация о результатах будет отображаться в специальных элементах управления на диаграмме эксперимента в окне презентации.

# Bass Diffusion - Phase 6 : Optimization

## Optimization Experiment

Run optimization

	Current	Best
Iteration:	1,503 infeasible	1,045
Objective:	↑ 4,035.401	4,036.745

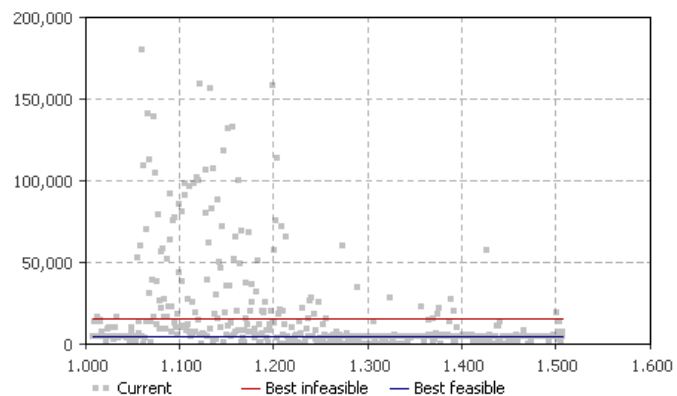
### Parameters

TotalPopulation	100,000	100,000
ContactRate	100	100
ProductLifeTime	2	2
MonthlyExpenditures	4,035.401	4,036.745
SwitchTime	0.083	0.083
TotalExpenditures	0	0

Copy the best solution to the clipboard

copy

expenditures



## 7. Применение результатов оптимизации

Когда процесс оптимизации модели завершится, Вы увидите, что Лучшее значение функционала равно четырем с лишним тысячам. Эксперимент в итоге выдаст оптимальные значения параметров SwitchTime и MonthlyExpenditures, при которых было достигнуто это значение функционала.

Теперь можно обновить модель этими значениями параметров SwitchTime и MonthlyExpenditures. Сохраните полученные значения параметров в эксперименте *Simulation*, чтобы использовать в созданной ранее модели найденную оптимальную стратегию:

- после завершения оптимизации, щелкните по кнопке **copy** на холсте диаграммы эксперимента в окне презентации. Таким образом Вы скопируете найденные (оптимальные) значения параметров в Буфер обмена.

- закройте окно презентации и выделите эксперимент Simulation в панели **Проекты**.

- вставьте скопированные значения параметров из Буфера обмена, щелкнув по кнопке **Вставить из буфера** в панели свойств эксперимента.

- запустите эксперимент Simulation. Теперь модель будет запущена с оптимальными значениями параметров, при которых в процессе оптимизации было получено наилучшее значение функционала. Можете проверить, что к заданному времени (1,5 года) достигается требуемое количество пользователей продукта.

Теперь мы спланировали стратегию завоевания рынка таким образом, чтобы рекламная кампания была наиболее рациональной и эффективной.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Понятие имитационного моделирования.
2. Смысл системной динамики в имитационном моделировании.
3. Перечислите основные этапы построения системно-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. Что такое оптимизационный эксперимент в среде AnyLogic и для чего используется?
8. Как строится интерфейс эксперимента AnyLogic для связи с параметрами модели?
9. В чем заключается принцип работы динамической системы с отрицательной обратной связью?
10. Примеры использования системно-динамического моделирования.

## ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 3.2 - Индивидуальные исходные данные для выполнения лабораторной работы 3.2

Номер варианта	Данные для моделирования повторных продаж и стратегии рекламной компании						Данные для оптимизации рекламной стратегии		
	Название продаваемого продукта	Срок службы продукта, лет	Ежемесячные расходы на рекламу, у.е.	Длительность рекламной кампании, лет	Общая численность населения, чел	Длительность процесса продаж, лет	Количество пользователей продукта за период рекламной кампании, чел	Начальные/максимальные ежемесячные расходы на рекламу, у.е.	Начальная/максимальная* длительность рекламной кампании, лет
1.	Зимняя обувь	3	750	4	300000	6	200000	700 / 3000	1 / 2
2.	Стиральная машина	10	2000	11	110000	15	80000	1500 / 10000	1 / 5
3.	Кастрюля	4	1000	5	140000	6	90000	900 / 8000	1 / 2
4.	Столовая посуда	5	500	6	200500	7	140000	500 / 5000	1 / 3
5.	Электрический чайник	5	1100	6	200500	8	135000	1000 / 10000	1 / 4
6.	Декоративная косметика	1,5	1700	2	300000	4	200000	1600 / 10000	0,5 / 1
7.	Детские игрушки	1	1200	2	250000	6	165000	1000 / 10000	0,5 / 1
8.	Фен	10	1050	11	100200	16	66800	1050 / 10000	1 / 5,5
9.	Наушники	3	900	4	150000	6	100000	800 / 10000	1 / 2
10.	Зимняя одежда	4	1100	5	300000	6	200000	1000 / 10000	1 / 2,5
11.	Сковородка	2	700	3	200000	6	135000	600 / 8000	0,5 / 1,5
12.	Утюг	3	1000	4	270000	7	180000	1000 / 10000	1 / 2
13.	Автомобиль	8	2000	10	500000	20	350000	2000 / 10000	1 / 5
14.	Летняя обувь	5	800	6	400000	8	267000	700 / 9000	1 / 3
15.	Корм для животных	0,3	1500	2	300000	5	160000	1200 / 10000	0,5 / 1
16.	Электробритва	6	950	7	140000	10	95000	900 / 10000	1 / 3,5
17.	Телевизор	12	1200	13	200000	22	130000	1000 / 10000	1 / 6,5
18.	Канцелярские принадлежности	1	100	3	101000	6	67000	100 / 5000	0,5 / 1,5
19.	Галстук/ремень	2	300	3	100700	5	68000	200 / 7000	0,5 / 1,5
20.	Смартфон	3	2000	5	120000	9	80000	1500 / 10000	1 / 2,5
21.	Летняя одежда	1	850	2	103000	4	85000	750 / 10000	0,5 / 2
22.	Чай/Кофе	0,5	1100	2	250000	4	140000	1000 / 12000	0,5 / 1,5
23.	Диван	15	1200	16	200000	20	130000	1000 / 10000	1 / 8
24.	Шампунь для волос	1	1250	3	400000	6	270000	1000 / 10000	0,5 / 1,5
25.	Ноутбук	3	1900	5	250000	10	170000	1700 / 10000	1 / 2,5
26.	Принтер	5	1300	6	200000	9	160000	1230 / 10000	1 / 3
27.	Пылесос	3	1500	4	400000	7	250000	1200 / 10000	1 / 2
28.	Кресло	6	1050	8	140000	12	96000	1000 / 10000	1 / 4,5

\* максимальная длительность рекламной компании также является конечным модельным временем проведения оптимизационного эксперимента