

Проект В: Модель распространения нового продукта по Бассу (модель Bass Diffusion).

Система AnyLogic поддерживает различные подходы моделирования. В данном проекте рассматривается системно-динамический подход моделирования.

Описание проблемы

Модель описывает процесс распространения среди населения инноваций и новых продуктов, разработана Фрэнком Бассом (Frank Bass) в 1969г.

Предположим, что некая фирма выпустила на рынок новый продукт, ранее неизвестный населению. Предполагается, что конкуренции со стороны других продуктов нет. Для того, чтобы создать спрос и люди начали приобретать новый продукт, используются два механизма. Определенная доля людей приобретает продукт под воздействием рекламы. Другие люди приобретают продукт в результате межличностных коммуникаций, общения с теми, кто этот продукт уже приобрел. В начальный момент времени население рассматривается как потенциальные покупатели. Модель представляет динамику процесса превращения (перетекания) потенциальных покупателей во владельцев продукта.

Формализация

Основными объектами в системной динамике являются:

- ✓ Накопители представляют собой 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.
- ✓ Параметры – числовые величины.

В данной модели накопителями являются численность потребителей и численность потенциальных потребителей продукта, а процесс приобретения продукта – потоком. Накопители обозначаются прямоугольниками, поток – вентилем, а динамические переменные – кружками. Стрелки обозначают причинно-следственные зависимости в модели. Системно-динамическое представление модели и обозначение для параметров модели приведено на рисунке 1.

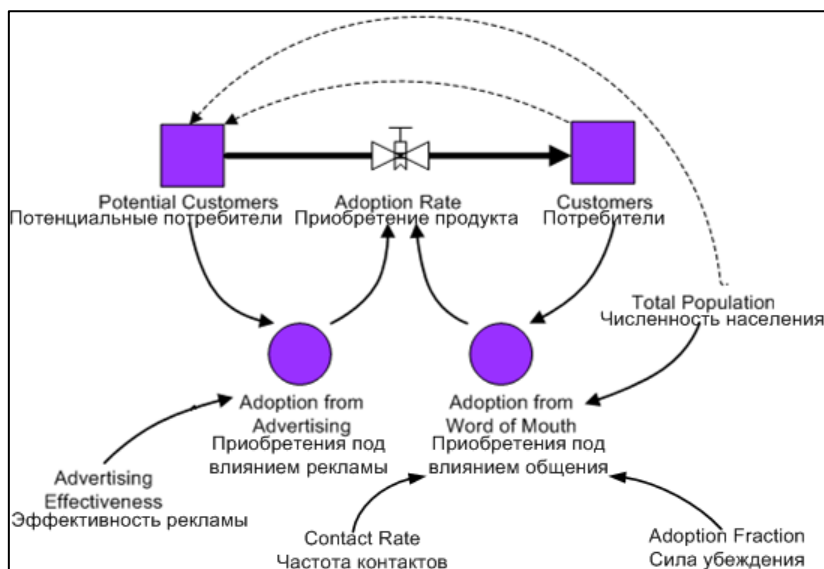





Рис. 1. Системно-динамическое представление модели.

Темп потока, в данном случае, есть интенсивность приобретения людьми нового продукта ***Adoption_Rate***. Интенсивность покупок не является константой. Предполагается, что люди покупают продукт: либо под влиянием рекламы; либо узнав о нем от знакомых, уже купивших продукт (межличностные коммуникации). Будем считать, что влияние этих двух причин на темп аддитивно, независимо и имеет одинаковый вес.




Задание В.1 Построение модели

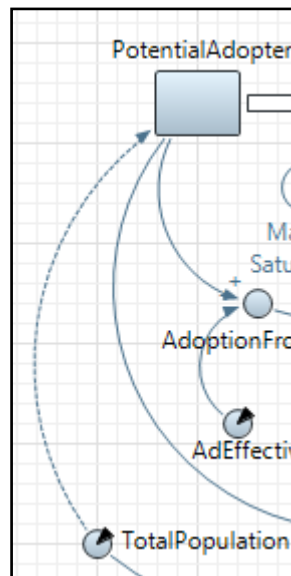
Цель: Формализовать проблему, изучить новые элементы палитры *Системная динамика*, создать параметры и динамические переменные.

1. Провести диалог «Новая модель». Определиться с названием и местоположением. Выбрать единицу модельного времени.
2. Создайте накопители моделирующие: численность потребителей и потенциальных потребителей продукта. Для этого откройте палитру *Системная динамика* в панели Палитра и перетащите элемент **Накопитель**  на холст Main. Переименуйте их в **PotentialAdopters** и **Adopters**.
3. Добавьте поток продаж продукта. Сделать это можно одним из двух представленных способов: сделайте двойной щелчок мышью по накопителю, из которого поток вытекает (**PotentialAdopters**), а затем щелкните по тому накопителю, в который он втекает (**Adopters**); выберите элемент **Поток**  из палитры *Системная динамика* и расположите его между *Накопителями*. Переименуйте поток на **AdoptionRate**.
4. Создайте параметры. Для этого перетащите элемент **Параметр**  из палитры *Системная динамика* на холст, в свойствах задайте *Название* и

Значение по умолчанию согласно представленной ниже таблице.

Имя	Значение по умолчанию	Примечание
TotalPopulation	100000	Общая численность населения
ContactRate	100	Число контактов владельцев с другими людьми за ед. мод. врмени
AdEffectiveness	0.011	Эффективность рекламы
AdoptionFraction	0.015	Сила убеждения, т.е. доля контактов, которая приводит к продажам продукта.

5. Задайте начальные значения **накопителя PotentialAdopters**. Для этого в графическом редакторе или в панели **Проекты** выделите щелчком мыши **накопитель Potential Adopters**, затем в панели **Свойства** введите **TotalPopulation** в поле **Начальное значение**.
6. Создайте динамическую переменную AdoptionFromAd, описывающую приобретения под влиянием рекламы. Для этого перетащите элемент Динамическая переменная  из палитры Системная динамика на диаграмму типа агентов. В панели **Свойства** введите новое **Имя переменной: AdoptionFromAd**. Задайте формулу:
 $PotentialAdopters * AdEffectiveness$.
7. Добавьте связи между зависимыми переменными и параметрами, при этом то нужно всегда рисовать связи в направлении - от независимой переменной к зависимой. Чтобы задать связь сделайте двойной щелчок по элементу **Связь**  палитры **Системная динамика**. Значок элемента при этом должен измениться на следующий: . Щелкните в графическом редакторе по элементу TotalPopulation. Затем щелкните по накопителю PotentialAdopters, к которому должна следовать создаваемая связь зависимости. Добавьте связи, ведущие от AdEffectiveness и PotentialAdopters к doptionFromAd.



8. Создайте динамическую переменную **AdoptionFromWOM**. В модели Басса данная переменная выражает интенсивность продаж продукта под влиянием устного общения потребителей продукта с теми, кто данный продукт ещё не приобрёл.

8.1. Предполагается, что в модели каждый может общаться с каждым. Количество контактов одного человека в единицу времени задаётся параметром *ContactRate*. Количество людей, которые владеют продуктом, и могут убеждать остальных приобрести его, в модели в каждый момент времени определяется значением накопителя *Adopters*, следовательно, количество контактов в единицу времени у всех владельцев продукта будет равно $Adopters * ContactRate$.

8.2. Однако, не все, вступившие в контакт, покупают продукт, а только те, которых убедили владельцы продукта. Обозначим параметр *AdoptionFraction* - сила убеждения, определяющую ту долю контактов, которая приводит к продажам продукта. Формула приобретает вид $Adopters * ContactRate * AdoptionFraction$.

8.3. И наконец, нужно учесть, что владельцы продукта общаются как с потенциальными потребителями, так и с теми, кто уже владеет продуктом. Общение с последними к новым продажам продукта не приведёт. Следовательно, формула должна учесть вероятность того, что контакт происходит с человеком, ещё не владеющим продуктом. Эта вероятность задаётся так: $PotentialAdopters / TotalPopulation$. В итоге формула для динамической переменной **AdoptionFromWOM** будет выглядеть

следующим образом:

$\text{Adopters} * \text{ContactRate} * \text{AdoptionFraction} * \text{PotentialAdopters}$. Именно столько потенциальных потребителей будут приобретать продукт в единицу модельного времени под воздействием общения с владельцами этого продукта.

- 8.4. Добавьте недостающие связи между переменными (с помощью кликов по индикаторам ошибок)


AdoptionFromWOM - Динамическая переменная

Имя: ☒ Отображать имя ☐ Исключить

☐ Отображается на верхнем уровне ☒ Отображается

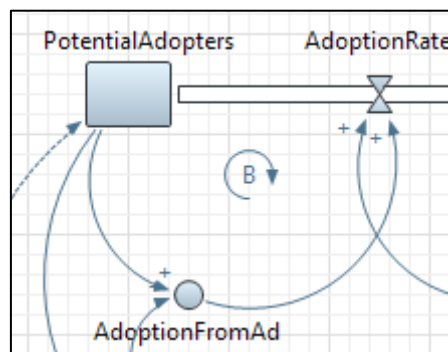
☐ Массив ☐ Зависимая ☐ Константа

AdoptionFromWOM =

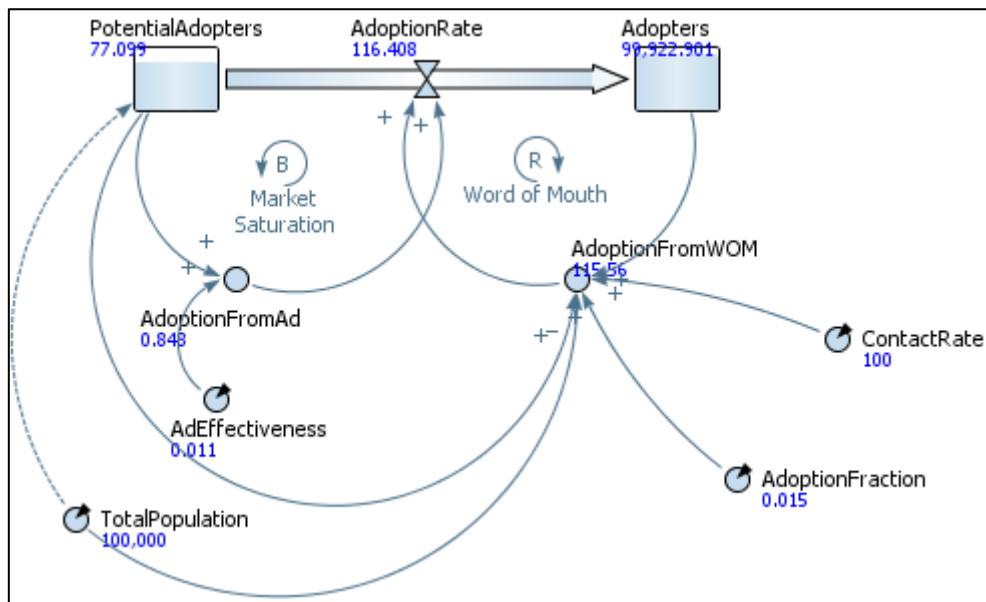
 $\text{Adopters} * \text{ContactRate} * \text{AdoptionFraction} * \text{PotentialAdopters} / \text{TotalPopulation}$

9. Задайте формулу потока. Для этого выделите поток AdoptionRate. Перейдите в панель Свойства. Введите в поле $\text{AdoptionRate} =$: правую часть формулы, по которой будет вычисляться значение потока, $\text{AdoptionFromAd} + \text{AdoptionFromWOM}$. Добавьте соответствующие связи от этих переменных к потоку AdoptionRate.
10. 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, на который направлена связь, увеличивается, то значение исходного элемента уменьшается, и наоборот.
11. Проставьте полярности у связей. Для этого 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.

12. 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.
13. Добавьте идентификатор цикла, вызывающего насыщение рынка. Перетащите элемент Цикл  из палитры Системная динамика на графическую диаграмму, как показано на рисунке ниже.



- 13.1. 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: **Насыщение рынка**. Из группы кнопок **Тип** выберите символ, который будет отображаться для данного цикла. Выберите символ **B** (обозначающий Balancing, то есть компенсирующий цикл).
14. Добавьте идентификатор для цикла, задающего общение людей друг с другом. 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**.

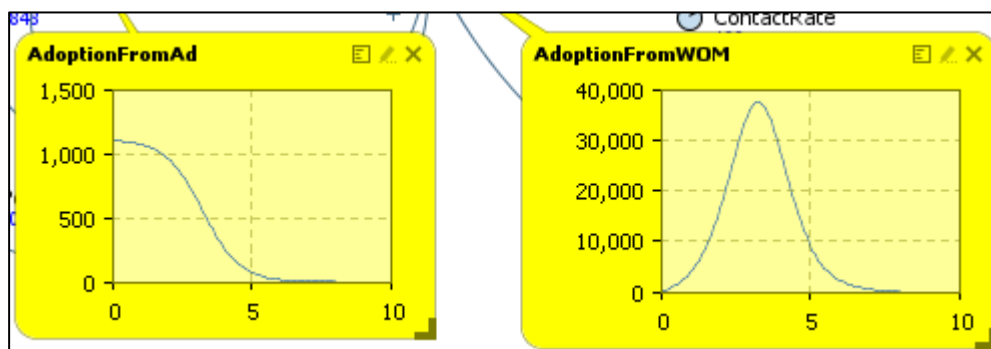


Задание В.2 Проведение эксперимента, построение графиков

Цель: Освоить технологию проведения экспериментов типа: «как сделать, чтобы...?»

1. Проведите эксперимент для временного промежутка в 8 лет.

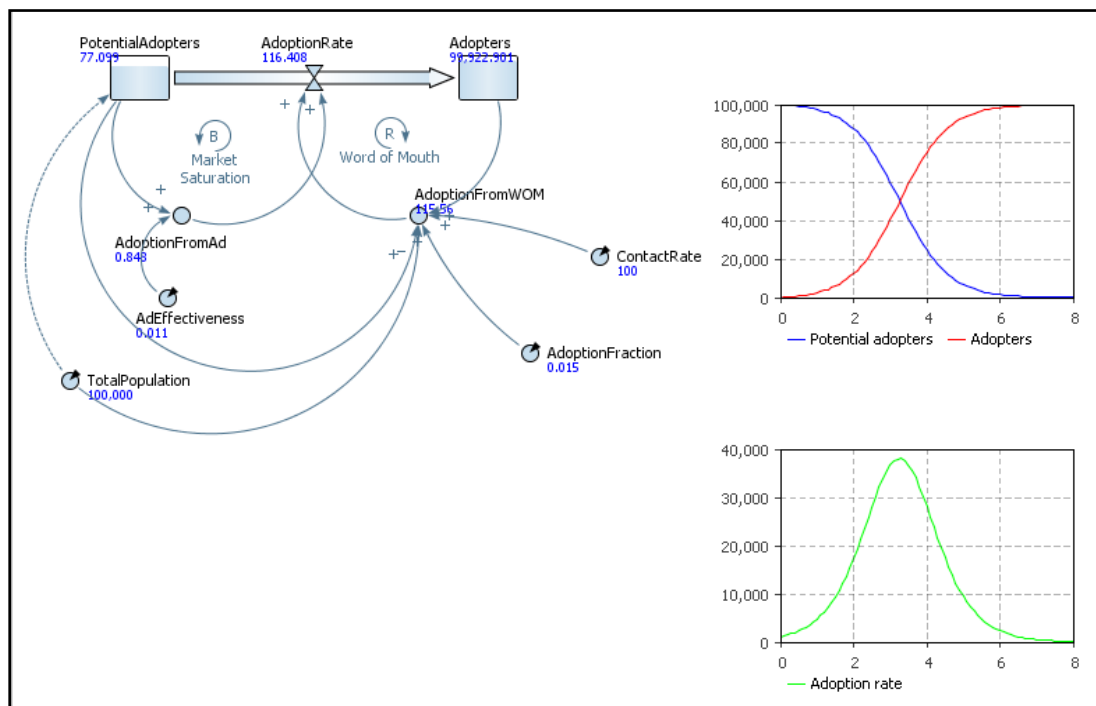
Исследуйте динамику обеих составляющих потока продаж. Щёлкните мышью по переменной AdoptionFromAd в окне презентации. Появится желтое окошко - окно "инспекта". Переключите окно в режим графика, при этом оно будет отображать временной график изменений значения переменной с течением модельного времени. Аналогичным образом откройте окно инспекта переменной AdoptionFromWOM и переключите его в режим графика.



Можно 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

монотонно падает по мере уменьшения численности потенциальных потребителей.

2. Добавьте график, отображающий динамику изменения численностей потенциальных покупателей продукта. Для этого поместите на холст элемент **Временной график** из палитры **Статистика** . В свойствах данного графика задайте **Временной диапазон** равный 8. В секции **Обновление данных** установить в поле **Период** значение 0.1, предварительно должен быть выбран пункт **Обновлять данные автоматически**. Добавьте элемент данных к диаграмме, в поле **Значение** введите имя накопителя: **PotentialAdopters**. В заголовке элемента данных укажите соответствующее название – *Потенциальные потребители*. Это название будет отображаться в легенде диаграммы.
3. Аналогично образом добавьте на этот же график еще один элемент данных – **Adopters**. В заголовке элемента данных укажите - *Потребители продукта*. Сделайте цвета линий для этих элементов данных разными цветами.
4. Добавьте на холст ещё один график. В поле **Значения** введите имя потока **AdoptionRate**. На рисунке приведён примерный вид презентации эксперимента.



5. Подберите входные параметры так, чтобы количество потребителей и потенциальных потребителей сравнялось на а) 2 году; б) на 6 году.

6. Подготовьте отчёт с выводами и ответьте на вопросы преподавателя.

Задание В.3 Моделирование повторных покупок и цикличности спроса.

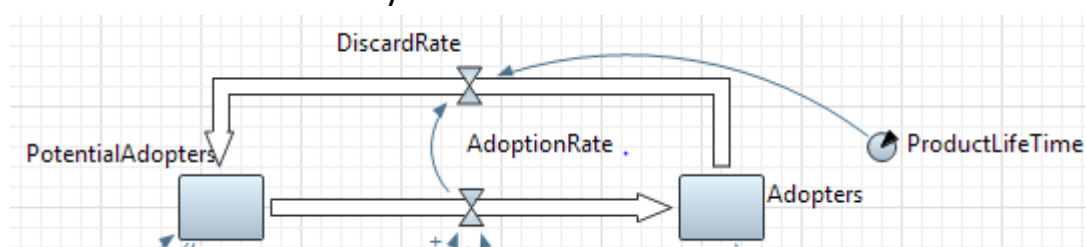
Цель: Освоить технологию моделирование повторных покупок и моделирование цикличности спроса.

1. **Моделирование повторных покупок.** Проведём усовершенствование модели с учётом того обстоятельства, что продукт со временем может быть израсходован или прийти в негодность, при этом потребители продукта перестают быть таковыми и снова становятся потенциальными потребителями. Упомянутое обстоятельство запускает процесс его повторного приобретения.

1.1. Определим константу, задающую среднее время жизни продукта.

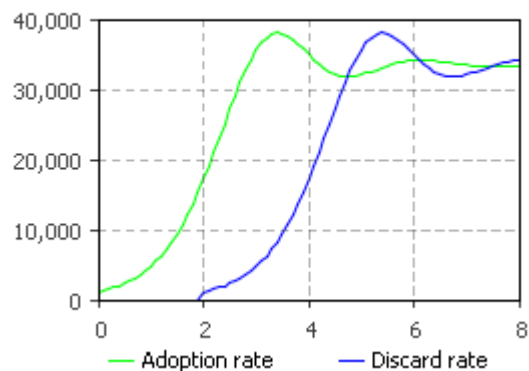
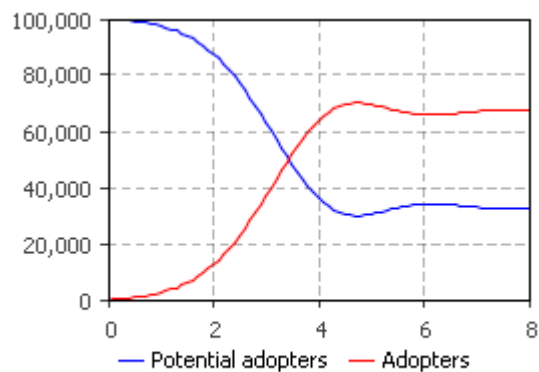
Создайте константу ProductLifeTime со значением по умолчанию – 2.

1.2. Создайте поток прекращения использования продукта, ведущий из Adopters в PotentialAdopters. Этот поток является ничем иным, как потоком приобретения, задержанным на среднее время жизни продукта. Назовите новый поток DiscardRate. Задайте для данного потока формулу: $\text{delay}(\text{AdoptionRate}, \text{ProductLifeTime})$. Таким образом, поток DiscardRate представляет собой поток AdoptionRate с временной задержкой ProductLifeTime. Задание формулы потребует добавления ссылок от переменных AdoptionRate и ProductLifeTime к потоку DiscardRate.



1.3. Обратите внимание, как изменились формулы для накопителей.

1.4. Добавьте на нижний график AdoptionRate новый элемент данных, отображающий динамику изменения интенсивности DiscardRate. Запустите эксперимент и исследуйте графики переменных AdoptionRate и DiscardRate. Можно увидеть, что график потока прекращения использования продукта является ничем иным, как



потоком

приобретения продукта, задержанным на 2 года—время пригодности продукта. Проследите динамику изменения численностей потребителей. Теперь численность потенциальных потребителей не уменьшается до нуля, а постоянно пополняется по мере того, как потребители повторно покупают продукты. 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.

2. **Моделирование цикличности спроса.** В текущей модели доля контактов потребителей продукта с потенциальными потребителями, которая приводит к продажам продукта (сила убеждения), полагается постоянной. На самом деле она изменяется, поскольку спрос на наш продукт зависит от текущего времени года. 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. Предположим, что у нас есть экспериментальные данные того, как изменяется средний спрос на продукт в течение года. Добавим эти данные в нашу модель с помощью табличной функции. Табличная функция – это функция, заданная в табличной форме, которая может быть сделана непрерывной с помощью интерполяции и экстраполяции.

- 2.1. Задайте кривую спроса с помощью табличной функции. Перетащите элемент **Табличная функция** на холст Main и назовите её demand. Инициализируйте её значениями из таблицы. Выберите тип **Интерполяции - Линейный**. Установите поле **Если аргумент выходит за пределы** в значение **Ближайший**.

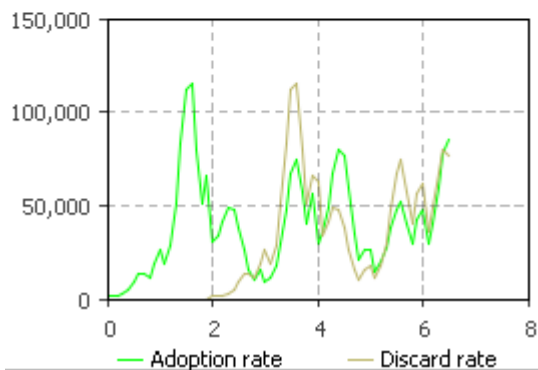
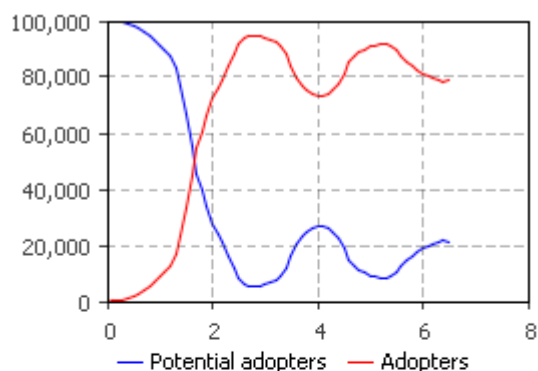
Аргумент	Значение
1	3
2	3,6
3	4,1
4	6,3
5	7,7
6	9,6
7	10,1
8	9,7
9	7,4
10	4,8
11	3,9
12	6,3

- 2.2. Создайте специальную функцию для моделирования влияния меняющегося спроса на количество людей, приобретающих продукт под влиянием общения с владельцами продукта. Для этого мы создадим специальную функцию и заменим параметр AdoptionFraction вспомогательной переменной, значение которой будет вычисляться согласно этой функции. Для этого перетащите элемент **Функция** из палитры **Основная** на холст Main. Назовите функцию adoptFraction. У функции один аргумент, с помощью которого ей будет передаваться текущее значение времени. Добавьте в таблицу **Аргументы функции** аргумент с именем time типа **double**.

Тело функции: `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 и делится на коэффициент преобразования.

- 2.3. Замените параметр `AdoptionFraction` вспомогательной переменной. Для этого удалите параметр `AdoptionFraction`, добавьте вспомогательную переменную `AdoptionFraction`. Задайте в качестве формулы переменной `adoptFraction(time())`. Таким образом, значение переменной будет вычисляться согласно нашей функции. Функция принимает один аргумент, `time()`. Функция `time()` возвращает текущее значение модельного времени. На рисунке ниже отражено колебания модели в соответствие с цикличностью спроса.



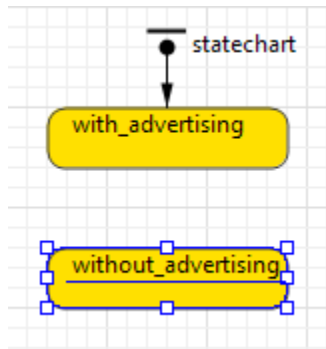
Задание В.4 Моделирование стратегии рекламной кампании

Цель: Освоить технологию оптимизационного эксперимента

До сих пор эффективность рекламы в 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, можно повлиять на текущую эффективность рекламы.

1. Создайте константу *MonthlyExpenditures*, задающую месячные расходы в размере 1100. Удалите параметр *AdEffectiveness* и создайте вспомогательную динамическую переменную *AdEffectiveness* с формулой: $MonthlyExpenditures/10000.0$. Пусть именно так эффективность рекламы зависит от текущих рекламных расходов компании.
2. Создайте динамическую переменную для хранения информации о том, сколько денег было потрачено на рекламу продукта, с ежемесячным обновлением с помощью специального события. Для этого перетащите элемент **Переменная** из палитры **Основная** на холст типа агента **Main**. Назовите переменную *TotalExpenditures*. Создайте событие, которое будет обновлять значение *TotalExpenditures*. Перетащите элемент Событие на диаграмму **Main** и назовите событие *monthlyEvent*. Сделайте так, чтобы таймер срабатывал каждый месяц. Задайте действие события: $TotalExpenditures += MonthlyExpenditures$; Этот код будет выполняться каждый раз по истечении таймаута события. Он выполняет сбор статистики, а именно добавляет значение запланированных рекламных расходов на предстоящий месяц к значению переменной *TotalExpenditures*.
3. Известно, что реклама играет значительную роль только в начальной стадии процесса завоевания рынка. Остановим рекламную кампанию через 3 года, чтобы сэкономить деньги, бесцельно тратящиеся на рекламу тогда, когда насыщение рынка будет определяться практически исключительно покупками продукта, вызванными общением потребителей с потенциальными потребителями. Для моделирования плана рекламной кампании добавьте константу, задающую время переключения *SwitchTime* с начальным значением 3.
4. Создайте диаграмму состояний для моделирования рекламной стратегии. Используйте палитру **Диаграмма состояний**. Перетащите элемент **Начало диаграммы состояний**. Добавьте два состояние, перетащив два элемента **Состояние** из палитры **Диаграмма состояний** так, чтобы состояние присоединилось к добавленному ранее элементу

и измените имена состояний как на рисунке ниже.



5. Остановим рекламную кампанию в тот момент, когда диаграмма состояний войдет во второе состояние. Поэтому напишите в поле свойства Действие при входе этого состояния `MonthlyExpenditures=0.0`
6. . 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 кампании определяются переменной `MonthlyExpenditures`. Как только диаграмма состояний покидает это состояние в момент времени `SwitchTime`, компания перестает рекламировать продукт.
7. **Оптимизация рекламной стратегии.** Построим оптимальную рыночную стратегию для достижения требуемого количества потребителей к определенному моменту времени при минимальных затратах на рекламу.
8. 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.
9. Задайте оптимизационные параметры: `MonthlyExpenditures` - задайте максимально возможное значение параметра в ячейке 10000, а Начальное значение равным 1000; `SwitchTime` - тип дискретный, шаг 0.0833. В ячейке Макс. выберите 1.5, а в ячейке Начальное 1.

10. Создайте интерфейс эксперимента. Щелкните по кнопке Создать интерфейс в панели свойств эксперимента.
11. Задайте функционал оптимизации. Целевая функция - `root.TotalExpenditures`. Опция – минимизировать. Также задайте дополнительное свойство оптимизации – по прошествии полутора лет продукт приобрело 80000 человек.
12. Запустите модель оптимизации и примените ее результаты в эксперименте.
13. Подготовьте отчет с выводами по проделанной работе и ответьте на вопросы преподавателя.