

Системная динамика и агентное моделирование

Тема. Системная динамика

Дисциплина для магистрантов специальности
«Компьютерная математика системный анализ»

Лаврова О.А.

механико-математический факультет, БГУ, Минск

2019

Системная динамика

Подход имитационного моделирования предложен и разработан в конце 1950-х годов американским профессором Джейм Форрестером (Jay Forrester) из Массачусетского технологического института (MIT) на базе комплекса идей из теории автоматического управления, теории информации и кибернетики, а также теории управления организациями. В 1958 г. разработан специальный язык программирования DYNAMO (DYNAmic MOdels).

Системно-динамические модели предполагают **высокий уровень абстракции (стратегический)** исследуемых объектов. Системная динамика является эффективным методом исследования **организационных систем**: анализ рынка, управление проектами, управление цепочками поставок

Мощный инструмент для поддержки принятия решений при стратегическом анализе и долгосрочном планировании

Системная динамика – главный постулат

- Главный постулат системной динамики «**Структура системы определяет поведение**», а не внешние воздействия на систему.
- Важное следствие: глубинные причины большинства проблем, в которые попадает управляемая сложная система, коренятся не в «неблагоприятных» внешних условиях, а в специфике структуры системы.

Хомяков, Системный анализ, 2008

Нужно приучиться смотреть на основные структуры, а не на события

Сенге, Пятая дисциплина, 1999

При построении моделей основное внимание уделяется выявлению структуры системы. Индивидуальные объекты не рассматриваются, а лишь их количества и агрегированные показатели.

Диаграммы

Системная динамика предлагает две графические нотации: причинно-следственная диаграмма (causal loop diagram) и потоковая диаграмма (stock and flow diagram)

Причинно-следственная диаграмма -- МОТИВАЦИЯ

- Мы страдаем от фундаментального несовпадения между природой реальности в сложных системах и привычным для нас способом мыслить об этой реальности. И первым шагом к устранению этого несовпадения должно быть осознание того, что **причины и следствия разъединены в пространстве и времени.**
- Мы представляем мир линейным, но **реальность циклична.** В этом одно из главных ограничений нашей способности мыслить системно.
- Для системного мышления является аксиомой то, что **всякое влияние есть одновременно и причина, и результат.**
- Развивая системное мышление, мы отбрасываем предположение, что всегда есть кто-то, на ком лежит ответственность. Из концепции обратной связи вытекает, что **каждый несет часть ответственности за проблемы, создаваемые системой.**

Сенге, Пятая дисциплина, 1999

Причинно-следственная диаграмма I

- Причинно-следственная диаграмма – метод качественного анализа сложных систем. Построенная модель системы позволяет выявить появление проблемы, развитие проблемы, наметить варианты решения.
- Причинно-следственная диаграмма (causal loop diagram) – это графическая нотация системной динамики, представляющая причинно-следственные связи системы и глобальные влияния одних параметров на другие во времени
- Причинно-следственные диаграммы состоят из переменных и связей между ними с определенной полярностью (положительной или отрицательной). Связи между переменными обозначаются стрелками от причины к следствию
- На языке системного мышления все системы описываются с помощью элементов системного мышления: **усиливающая обратная связь** (четное число отрицательных связей), **уравновешивающая обратная связь** (нечетное число отрицательных связей) и **задержки**

Сенге, Пятая дисциплина, 1999

Причинно-следственная диаграмма II

- Если в системе имеется **усиливающая (reinforcing) обратная связь** между некоторыми элементами, то система обязательно будет вести себя или по типу экспоненциального затухания, или по типу экспоненциального роста. *При этом совершенно все равно, какими будут внешние воздействия, инициирующие данную обратную связь. Систему в этой ситуации достаточно лишь незначительно подтолкнуть.*

Хомяков, Системный анализ, 2008

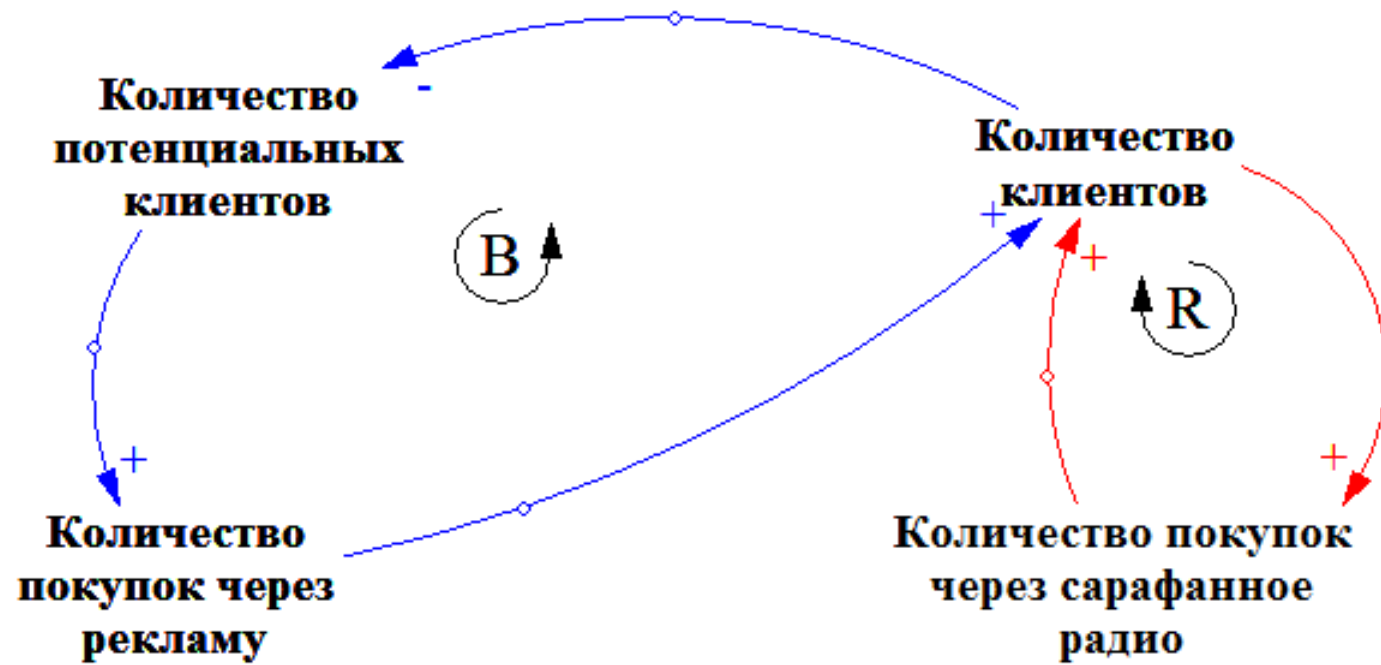
- Если отклик контура обратной связи на переменное изменение выступает против первоначального возмущения, то контур является отрицательным или целенаправленным.

Сидоренко, Системная динамика, 1998

- **Уравновешивающую или стабилизирующую (balancing) обратную связь** мы находим везде, где наличествует поведение, ориентированное на достижение цели.
- Многие процессы обратной связи работают с **задержками**, так что последствия действий проявляются только постепенно.

Сенге, Пятая дисциплина, 1999

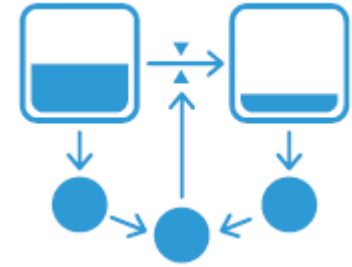
Пример. Модель Басса



Причинно-следственная диаграмма III

Причинно-следственная диаграмма не имеет семантики,
достаточной для имитации

Потоковая диаграмма I



Потоковая диаграмма (stock and flow diagram) – метод количественного анализа сложных систем на основе имитационного моделирования

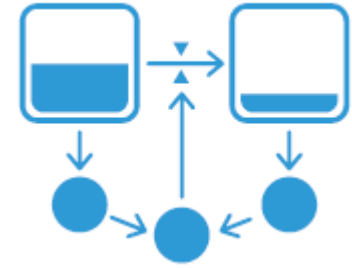
Основные компоненты системно-динамической модели:

- **Накопитель**, запас, уровневая переменная, stock. Характеризует накопленные значения переменной внутри системы. Изменяется во времени только в результате работы входящих и выходящих потоков. Отражает текущее состояние переменной системы. Выражается в единицах размерности модели (численность людей, литры, банковская наличность, товары...)
- **Поток**, потоковая переменная, flow. Регулирует темп потока между накопителями. Увеличивает или уменьшает запас. Выражается в единицах размерности модели за единицу времени
- **Переменные**

Потоковая диаграмма моделирует процессы в виде потоков между накопителями

AnyLogic

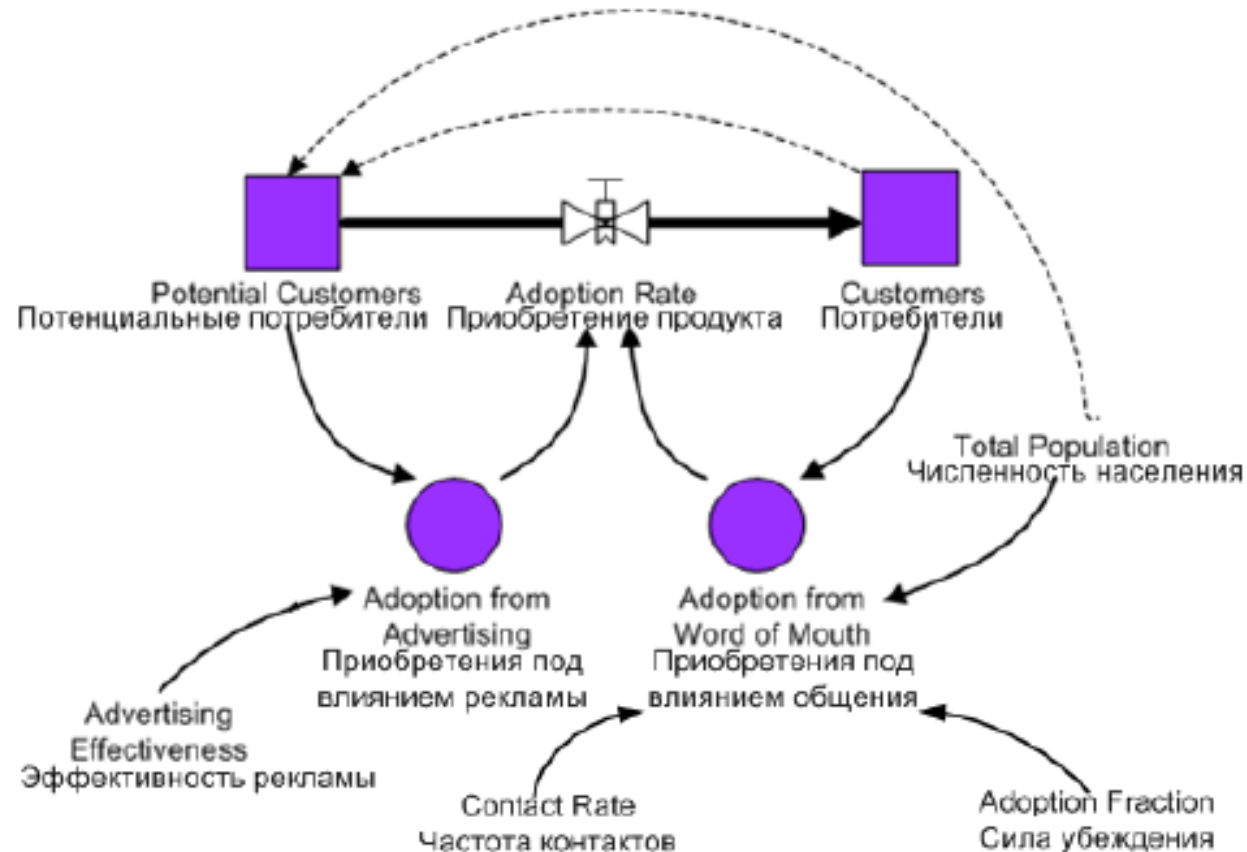
Потоковая диаграмма II



- С формальной точки зрения потоковая диаграмма реализуется в виде математической модели (система ОДУ первого порядка или дифференциально-интегральных уравнений), определяющей потоки между накопителями. Потоковая диаграмма является **непрерывной моделью**.
- Системно-динамическая модель может быть реализована инструментами для схемотехнического моделирования динамических систем (например, MATLAB Simulink) на основе блочного подхода. Однако такие инструменты не удобны для аналитиков, так как они не поддерживают системного образа мышления

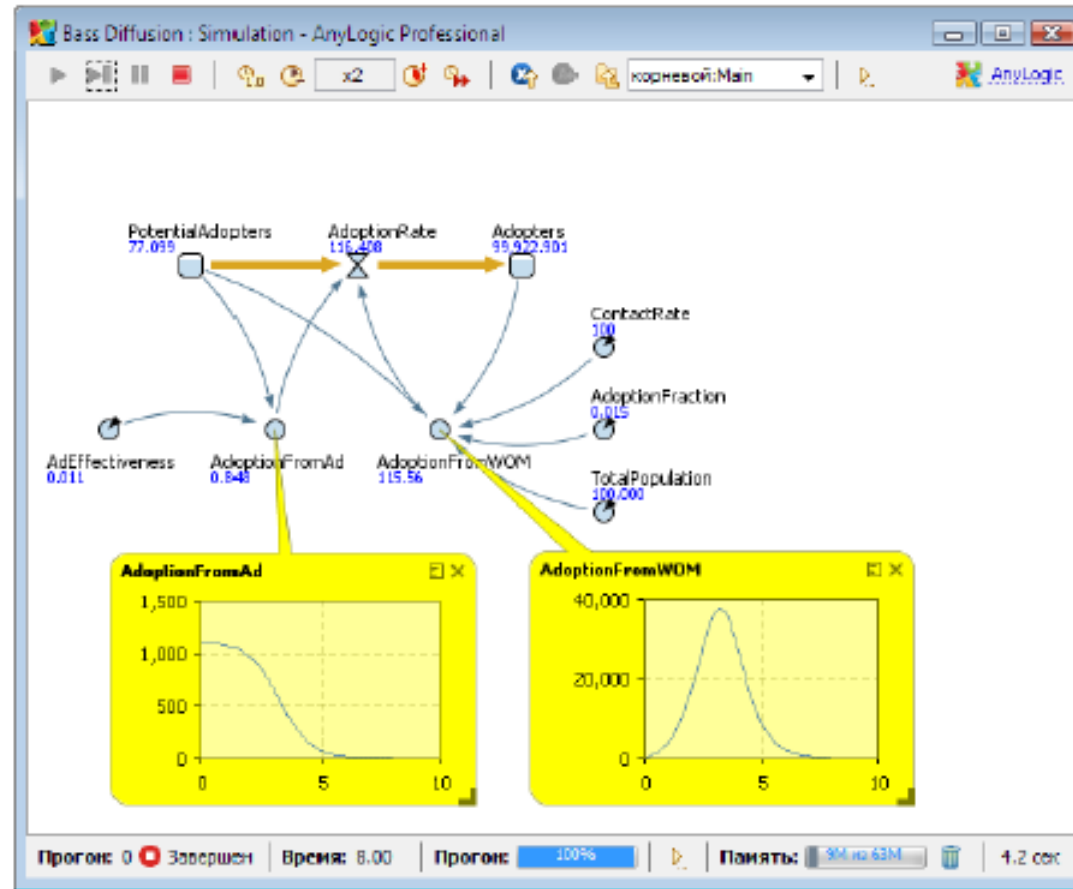
Борщев, AnyLogic

Потоковая диаграмма для модели Басса I



Киселева, Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic, 2009

Потоковая диаграмма для модели Басса II



Киселева, Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic, 2009

Потоковая диаграмма для модели Басса III

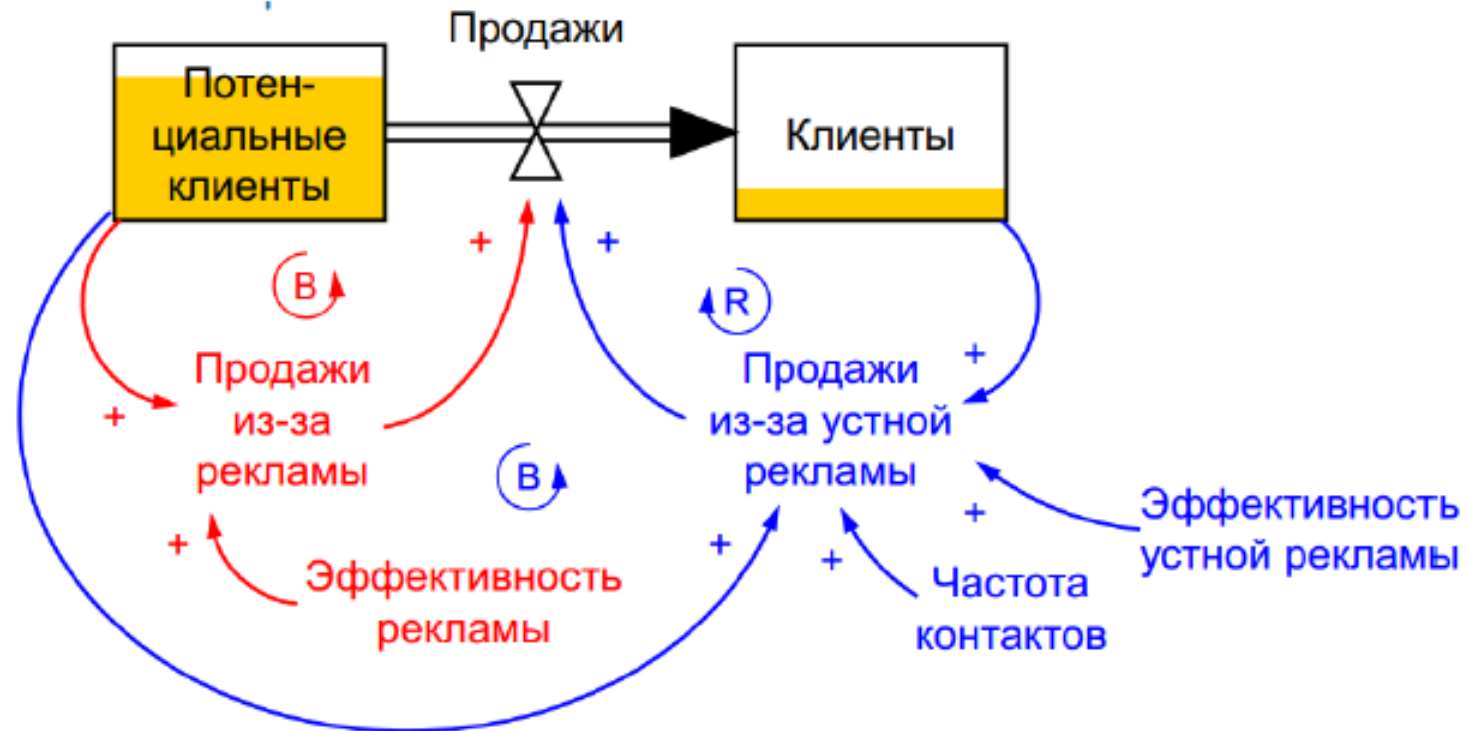


Рис. 3.3. Модель системной динамики

Маликов, Практикум по ИМ сложных систем в среде AnyLogic 6, 2013

Модель Басса – реализация в AnyLogic

- Подробная инструкция по реализации системно-динамической модели в AnyLogic см.
 - *В.Н. Михайлов. Имитационное моделирование: учебно-методическое пособие. 2015. Лабораторная работа 2. Моделирование динамических систем, стр. 48—100.*
 - *М.В. Киселева. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: учебно-методическое пособие. 2009. Лабораторная работа № 2, стр. 39—61.*
- Дополнительно реализованы усовершенствования модели
 - Моделирование повторных покупок (продаж)
 - Моделирование цикличности спроса
 - Управление расходами на рекламную компанию
 - Оптимизация рекламной стратегии

ЛБ 2. Системно-динамическая модель Басса

- Осуществить базовую реализацию системно-динамической модели Басса
- Осуществить расширенную реализацию
 - Моделирование повторных покупок (**Пасейшвили**)
 - Моделирование цикличности спроса (**Старовойтов, Субоч**)
 - Управление расходами на рекламную компанию (**Голенков, Усович**)
 - Оптимизация рекламной стратегии (**Реентович, Заморникова, Сорокина**)