

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИИ ИННОВАЦИЙ

Предложены имитационные системно-динамические модели рыночной диффузии инноваций, реализованные в системе Matlab/Simulink. Кроме фундаментальных моделей теории инноваций, приведены модели диффузии с учетом повторных покупок и рыночной конкуренции. Разработанные модели можно использовать в маркетинговых исследованиях рынка инновационных продуктов.

Ключевые слова: система, динамика, диффузия, имитация, модель, покупатель.

В теории инноваций под диффузией понимается процесс распространения инновационного продукта (нововведения) в среде потенциальных покупателей. Нововведениями могут быть предметы и технологии, которые являются новыми и полезными для соответствующего хозяйствующего субъекта. В естественных науках под диффузией понимают взаимное проникновение соприкасающихся веществ. Известны различные методы, модели и инструменты прогнозирования динамики инноваций [1; 2]. Следует отметить, что методология исследования диффузии инноваций имеет прямые или косвенные аналогии с теорией надежности технических систем и динамикой живых систем, в частности, с демографией и теорией страхования жизни. В предлагаемой статье даны результаты компьютерного моделирования диффузионного процесса в системе Matlab/Simulink, а также обобщенная модель диффузии в среде AnyLogic. Кроме фундаментальных моделей теории инноваций, в работе приведены модели диффузии с учетом повторных покупок и рыночной конкуренции.

Пакет Simulink позволяет выполнять исследование (моделирование) сложных динамических систем. Ввод параметров систем производится в интерактивном режиме путем графической сборки схемы соединений элементарных блоков, в результате чего получается модель исследуемой системы. Блоки, включаемые в модель, связаны друг с другом как по информации, так и по управлению. Тип связи зависит от типа блока и логики работы модели. С помощью Simulink автоматизируется наиболее трудоемкий этап имитационного моделирования – составление и решение систем дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих рассматриваемую модель.

Первая известная модель диффузии инноваций, или модель внешнего влияния, основана на предположении, что скорость распространения инновации dN/dt зависит только от числа потенциальных потребителей на данный момент времени $(M-N)$ и эффективности стратегии продвижения товара:

$$\frac{dN}{dt} = a(M - N),$$

где M – емкость рынка, т. е. суммарное число потенциальных покупателей (постоянная величина); N – суммарное число реальных покупателей на данный момент времени (переменная величина); a – эмпири-

ческий коэффициент внешнего влияния, отражающий эффективность рекламных мероприятий.

Структура модели внешнего влияния, где $M = 100\ 000$ и $a = 0,1$, показана на рис. 1.

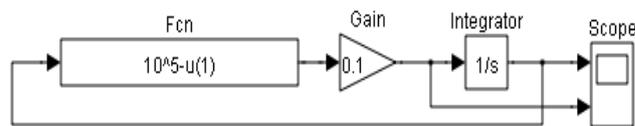


Рис. 1. Блок-схема модели внешнего влияния

На осциллографе Scope в качестве результатов фиксируется зависимость $N(t)$, которая представляет собой модифицированную экспоненту с предельным значением 10^5 и начальным значением $0,1 \cdot 10^5 = 10^4$, а также экспоненциально убывающая во времени скорость распространения инновации dN/dt .

Основное допущение модели внутреннего влияния заключается в том, что скорость распространения инновации dN/dt зависит не только от числа потенциальных покупателей на данный момент времени $(M-N)$, но и от достигнутого уровня распространения инновации N . При этом предполагается, что официальная информация о новом продукте не оказывает существенного влияния на принятие решений о покупке, а решающее значение имеют межличностные контакты реальных и потенциальных покупателей. Эмпирический коэффициент b в этой модели учитывает интенсивность и результативность межличностных коммуникаций:

$$\frac{dN}{dt} = bN(M - N) / M.$$

Структура модели внутреннего влияния, где $M = 10^5$ и $b = 0,25$, показана на рис. 2.

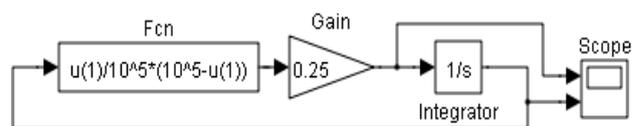


Рис. 2. Блок-схема модели внутреннего влияния

Результатом решения уравнения является S-образная логистическая кривая, соответствующая зависимости $N(t)$, а её производная – колоколообразная кривая скорости распространения инновации dN/dt .

На практике наибольшее распространение получили различные модификации модели смешанного влияния диффузии инноваций, в которых используются оба коэффициента a и b , т. е. на процесс принятия решения о покупке влияют и внешние источники из средств массовой информации, и личные контакты пользователей инновации с потенциальными покупателями. Научная гипотеза в данном случае состоит в том, что реклама не оказывает заметного влияния на большинство населения, но достигает ограниченной социальной группы, которая впоследствии на основе опыта владения продуктом положительно влияет на родственников, знакомых и сослуживцев:

$$\frac{dN}{dt} = (a + \frac{b}{M} N)(M - N).$$

Дискретная модель смешанного влияния показана на рис. 3, где в качестве констант заданы значения коэффициентов $a = 0,01$, $b = 0,25$ и емкость рынка $M = 10^5$.

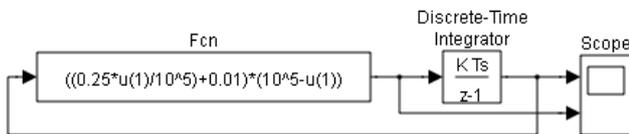


Рис. 3. Блок-схема модели смешанного влияния

Зависимость, полученная с осциллографа Scope, роста числа покупателей от времени (верхний график) и скорость этого роста, т. е. изменение числа покупок по периодам (нижний график), показаны на рис. 4.

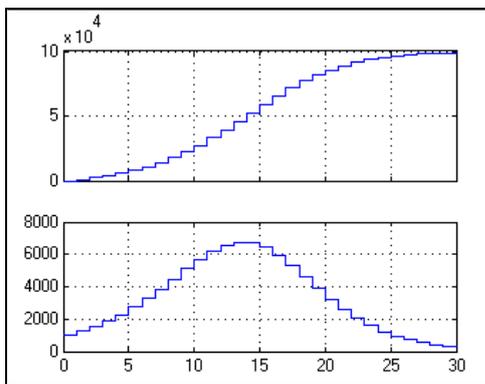


Рис. 4. Динамика модели смешанного влияния

Видно, что скорость продаж сначала растет, а затем по мере насыщения рынка падает.

В известной литературе проблема определения коэффициентов внешнего и внутреннего влияния практически не обсуждается. Коэффициенты a и b считаются заранее заданными величинами, хотя именно они определяют результаты прогнозирования. Более того, величина коэффициента внутреннего влияния никак не связывается с уровнем удовлетворения ожиданий потребителей. Понятно, что чем выше этот уровень для конкретного инновационного продукта,

тем выше результативность межличностных коммуникаций, тем больше скорость спроса и величина коэффициента внутреннего влияния.

Найти численные значения коэффициентов можно только по результатам продаж за пять-шесть периодов (недель или месяцев) в зависимости от типа инновации. По данным статистики определяются следующие показатели: количество реальных покупателей по числу проданных товаров за каждый период $\Delta n(t)$; кумулятивное число реальных покупателей нарастающим итогом на конец каждого периода; количество оставшихся потенциальных покупателей последовательным вычитанием из емкости рынка числа проданных товаров за каждый период. Делением $\Delta n(t)$ на последний показатель получается ряд интенсивностей продаж.

Используя в качестве аргумента отношение накопленного числа реальных покупателей N к емкости рынка M , а интенсивность продаж – в качестве результативного признака, находим уравнение линейной регрессии вида $0,01 + 0,25 \cdot N/M$. Из уравнения следует, что $a = 0,01$, $b = 0,25$. В данном случае в качестве статистики использованы результаты моделирования за первые шесть периодов, поэтому коэффициент детерминации равен единице.

Системно-динамическое представление рассмотренной модели, известной как модель диффузии Басса [3], в среде имитационного моделирования AnyLogic представлено на рис. 5.

При создании модели в AnyLogic необходимо классифицировать переменные на накопители, потоки и вспомогательные переменные. Накопители (уровни, фонды) представляют собой объекты реального мира, где накапливаются определенные ресурсы, значения которых непрерывно изменяются. Потоки – активные компоненты системы, которые изменяют значения накопителей. В свою очередь, накопители системы определяют значения потоков. Вспомогательные переменные служат для преобразования одних числовых значений в другие и могут произвольно изменять свои значения или быть константами. В данной модели (рис. 5) число потребителей и потенциальных потребителей продукта являются накопителями, а процесс приобретения продукта – потоком. Накопители обозначаются прямоугольниками, поток – вентилем, а вспомогательные переменные – кружками. Стрелки обозначают причинно-следственные связи.

Рассмотренные модели не учитывают повторные покупки, так как со временем продукт может быть израсходован или прийти в негодность. Для моделирования вначале надо определить константу, задающую долговечность продукта. Пусть средняя продолжительность использования продукта равна одному году. Поскольку потребители продукта снова становятся потенциальными потребителями, то поток прекращения использования продукта является потоком приобретения, задержанным на среднее время жизни продукта, равное двенадцати месяцам (рис. 6).

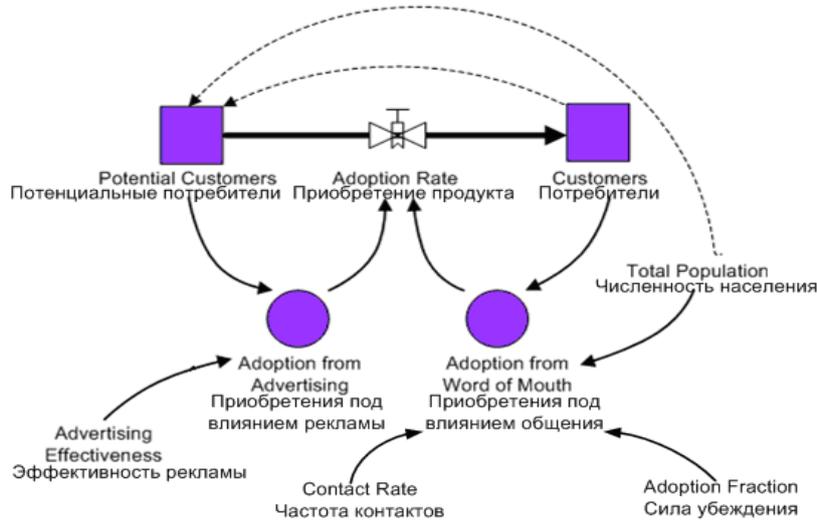


Рис. 5. Имитационная модель диффузии инноваций в AnyLogic

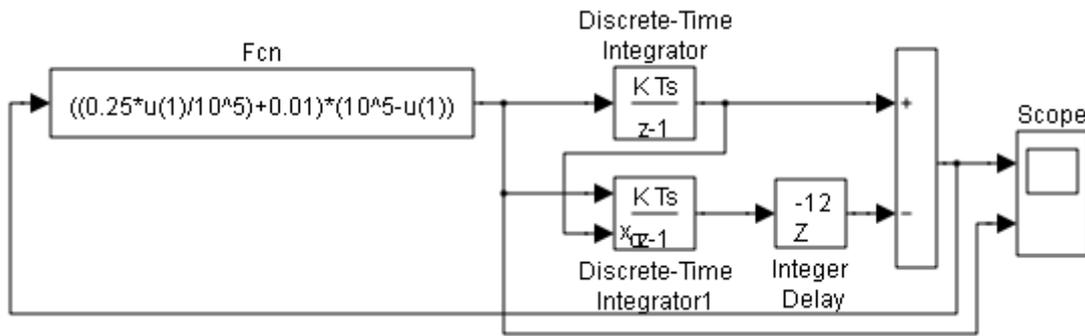


Рис. 6. Блок-схема модели с повторными покупками

Приведенная схема отличается от базовой модели (см. рис. 3) наличием блока задержки Integer Delay и интегратора Discrete-Time Integrator1, начальное значение которого соответствует оставшемуся числу потенциальных покупателей. Результаты моделирования показаны на рис. 7 (Scope), где верхний график показывает рост числа покупателей в зависимости от времени, а нижний график – скорость этого роста.

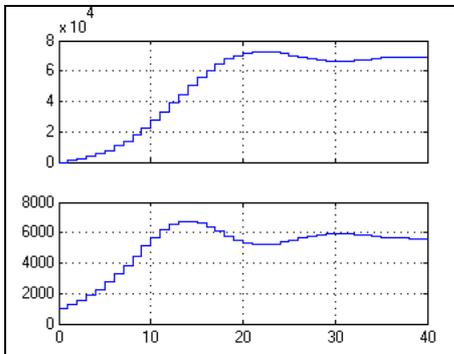


Рис. 7. Динамика модели с повторными покупками

Теперь численность потенциальных потребителей не уменьшается до нуля, а постоянно пополняется за

счет того, что потребители снова покупают товары взамен непригодных. Скорость приобретений растет, падает, и в итоге принимает стабильное значение, зависящее от долговечности продукта и параметров, определяющих интенсивность этого потока. Наличие в модели прекращения использования продукта означает, что определенная доля населения всегда будет оставаться потенциальными потребителями.

Практический интерес представляет моделирование ситуации двух или нескольких конкурирующих продуктов. Система уравнений для этого случая приведена ниже:

$$\frac{dN_1}{dt} = (a_1 + b_1 \frac{N_1}{M})(M - N),$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (a_2 + b_2 \frac{N_2}{M})(M - N),$$

$$N = N_1 + N_2,$$

где $a_1 = 0,01$, $b_1 = 0,25$, $a_2 = 0,02$, $b_2 = 0,35$ – эмпирические коэффициенты внешнего и внутреннего влияния для первого и второго продуктов соответственно; M – емкость рынка; N_1 , N_2 – суммарное число покупателей первого и второго продуктов соответственно на данный момент времени; N – суммарное текущее число покупателей.

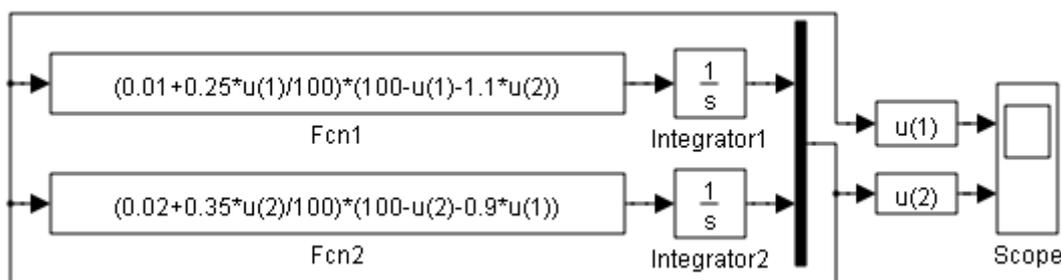


Рис. 8. Блок-схема модели конкурирующих инноваций.

По результатам моделирования рынок приходит в состояние насыщения примерно через 20 периодов, причем верхний предел продаж, зависящий от коэффициентов внешнего и внутреннего влияния, для первого продукта составляет около 20 тыс., а для второго – около 80 тыс.

В предыдущей модели результаты зависят только от коэффициентов внешнего и внутреннего влияния. Более реальную ситуацию отображает модель, система уравнений для которой следующая:

$$\frac{dN_1}{dt} = (a_1 + b_1 \frac{N_1}{M})(M - N_1 - cN_2),$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (a_1 + b_1 \frac{N_2}{M})(M - N_2 - fN_1).$$

Здесь, в принципе, ничего не меняется за исключением коэффициентов взаимного влияния c и f . Коэффициент c показывает, во сколько раз рентабельность продукта второго вида больше соответствующего показателя для первого вида. Коэффициент f показывает, во сколько раз рентабельность продукта первого вида больше соответствующего показателя для второго вида. Блок-схема для двух конкурирующих инноваций записана на рис. 8, где в функциональных блоках записаны правые части приведенной системы уравнений при $c = 1,1$ и $f = 0,9$, причем число продаж выражено в сотнях тысяч.

Динамика изменения продаж обоих продуктов показана на рис. 9 (осциллограф Scope). Верхний график относится к первому продукту, а нижний – ко второму. На горизонтальной оси, как и ранее, даны номера периодов, а на вертикальной – изменение численности реальных покупателей в сотнях тысяч.

Видно, что при заданных соотношениях первый продукт не выдерживает конкуренции и уходит с рынка. Если коэффициенты c и f равны единице, то получим те же результаты, что и в предыдущем примере.

В этих примерах рассмотрен лишь один из возможных видов конкуренции на рынке инновационных продуктов. Если использовать принятую в экологии классификацию, которая практически без изменений справедлива и для социально-технологических систем, то существует три типа межвидовых отношений: (+ +), (– –), (+ –) [4]. При этом знак «+» означает положительное, благоприятное воздействие одного вида на другой, а знак «–» – неблагоприятное. Соответствующие типы межвидовых отношений получили наименования симбиоза, конкурентного подавления или борьбы за общий ресурс, отношений типа «хищник–

жертва». Кроме того, принято выделять два типа отношений, при которых один вид, оказывая положительное или отрицательное воздействие на другой, сам не испытывает с его стороны никакого влияния (отношения типа ± 0). Знаки в этой символике имеют конкретный математический смысл, поскольку определяют знаки производных и результаты решения дифференциальных уравнений, т. е. характер взаимоотношений конкурентов.

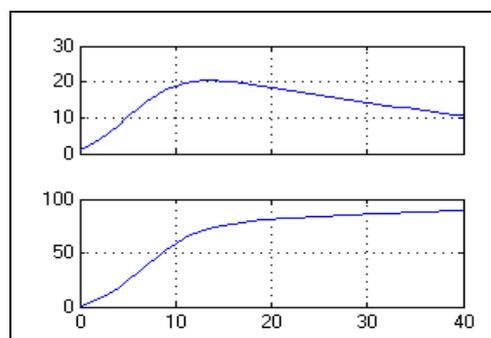


Рис. 9. Динамика модели с конкуренцией

Реализация принципа симбиоза на рынке инноваций возможна в случае эффективной кластерной политики управления региональной экономикой. Модель второго типа конкуренции показана в последнем примере. Моделирование третьего типа конкуренции осуществляется с помощью различных модификаций системы уравнений Лотки–Вольтерра, в результате чего получают фазовый портрет взаимодействия конкурентов.

Разработанные модели можно использовать в качестве инструментов прогнозирования для поддержки принятия управленческих решений на различных стадиях создания и реализации инновационного продукта

Библиографические ссылки

1. Цисарь И. Ф. Matlab/Simulink. Компьютерное моделирование экономики. М. : СОЛЮН-Пресс, 2008.
2. Боев В. Д, Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. Элементы теории и практики : учеб. пособие. СПб. : Военная академия связи. 2009.
3. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб. : БХВ-Петербург, 2006.
4. Одум Ю. Основы экологии. М. : Мир, 1975.

Yu. V. Bulgakov, O. V. Zinina

COMPUTER SIMULATION OF DIFFUSION INNOVATIONS

The authors offer simulated system-dynamic models of market diffusion innovations, realized in system of Matlab/Simulink. Besides fundamental models of the theory of innovations, the work contains the models of diffusion, with the account of recurring purchases and market competition. The developed models can be used in the market researches for the market of innovation products.

Keywords: system, dynamics, diffusion, simulation, model, customer.

© Булгаков Ю. В., Зинина О. В., 2011

УДК 339.1

О. Ф. Демченко

СИСТЕМНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИОННОГО СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ РОССИЙСКОГО АВИАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Выявлена последовательная системная позиция системы организационного структурного проектирования организационных обособлений современного российского авиационно-промышленного комплекса – корпораций, предприятий и подразделений – в общих системах соответствующего самоуправления.

Ключевые слова: организационное проектирование, адаптация, контур управления, иерархическое управление, моделирование, организационная структура, авиационно-промышленный комплекс, обоснование управленческих решений.

Разработка и применение процедуры моделирования организационной структуры некоторого организационного обособления (как микроуровневого, так и мезоуровневого) российского авиационно-промышленного комплекса в совокупности с соответствующей моделью с неизбежностью предусматривают их соотнесение, а далее – позиционно корректное встраивание в управляющие системы и, соответственно, в системы управления, причем с учетом видового характера организационного обособления.

Поэтому следует в общем случае последовательно определиться со следующими системными позициями:

1. Системы адаптации (адаптационного управления) в общей системе управления организационного обособления авиационно-промышленного комплекса (тут допустимо указать и иначе – организационным обособлением). Естественно, что система управления включает объект управления и управляющую систему, а адаптация представляет собой приспособительную трансформацию системы управления. Здесь и далее подразумевается охват и первоначального создания, и последующих (при их наличии) трансформаций организационного обособления в управленческом аспекте, охватывающих в общем случае его и как объект управления, и как управляющую систему. В самом деле, при первом срабатывании этой системы осуществляется формирование первоначального управленческого облика организационного обособления в части его объекта управления и его управляю-

щей системы, реализующей в некотором смысле «повседневное» управление организационным обособлением, а затем, при последующих срабатываниях, – трансформация этого облика. Поэтому для краткости в основном будем ограничиваться упоминанием системы адаптации, которая распространяется на первоначальное формирование управленческого облика системы управления и на ее последующие изменения. В общем случае первоначальное формирование управленческого облика организационного обособления неизбежно, а последующие его трансформации возможны.

2. Системы организационной адаптации рассматриваемых организационных обособлений в общей системе их адаптации.

3. Системы организационной структурной (организационно-структурной) адаптации в рамках системы организационной адаптации рассматриваемых организационных обособлений.

4. Системы организационного проектирования в рамках системы организационной адаптации.

5. Системы организационно-структурного проектирования в системе организационно-структурной адаптации.

Рассмотрим *первое* из указанных позиционирований. Как канонически определено мировым научным сообществом, адаптация системы управления (адаптационное управление) может быть обусловлена целесообразностью приспособительной трансформа-