

УДК 621/3 : 004/7

Е.О. Стадник

Харьковский институт бизнеса и менеджмента, Харьков

СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК

Рассматривается системно-динамическая модель цепочек поставок, позволяющая исследовать поведение производственно-сбытовой системы во времени и в зависимости от взаимодействия между элементами. Приводятся описание и структура модели, градиция звеньев модели и ее переменных. Сделаны выводы о применении построенной системы.

Ключевые слова: цепочка поставок, динамическая система, системно-динамический подход, уровни, темпы, запаздывание, уравнения розничного звена.

Введение

Управление цепочкой поставок (Supply Chain Management — SCM) является на сегодняшний день одним из наиболее уязвимых звеньев на предприятиях. Чтобы минимизировать потери в условиях жесткой конкуренции, необходимо решать целый ряд задач, связанных с управлением цепочкой поставок.

Сегодня практически ни одна организация не может самостоятельно контролировать всю цепочку поставок. Этот сложный цикл разбит на этапы, и множество организаций участвуют в нем в качестве поставщиков и покупателей. В результате несогласованных действий, задержек в продвижении заказов и их исполнении, а также несовершенства процедур управления внутри звеньев и между отдельными звеньями в реальных цепочках поставок возникают специфические эффекты, оказывающие неблагоприятное воздействие на участников цепочки поставок, которые находятся дальше всех от конечного потребителя.

Применение системно-динамического подхода к управлению цепочками поставок позволяет посредством совокупности принципов и методов анализа динамических систем с обратной связью решать задачи, связанные с управлением цепочкой поставок.

На сегодняшний момент существует много системно-динамических моделей цепочек поставок, а также имитационных игр, позволяющих моделировать процесс управления цепочкой поставок.

Первая системно-динамическая модель цепочек поставок была разработана Дж. Форрестером в 60-х годах прошлого века.

Дж. Форрестер ставил задачу создания математической модели экономической системы. Назначение модели – проектирование и усовершенствование промышленных и экономических систем, т.е. определение последствий внесения изменений в организационные формы и политику управления, изменения спроса, цен, тарифов и т.д. Точность модели определяется руководителем, как правило, повышение требований к точности модели приводит к ее усложнению. При этом не всегда точность явля-

ется главным требованием – модель может быть «грубой», но правильно отражать особенности системы.

Основным инструментом модели выбран аппарат дифференциальных уравнений в их конечно-разностной форме. Продукт модели – это временные характеристики – результаты имитационного эксперимента. Они должны отражать поведение реальной экономической системы.

Данная модель достаточно проста по своей структуре и позволяет исследовать поведение производственно-сбытовой системы во времени и в зависимости от взаимодействия между элементами системы. Модель производственно-сбытовой системы Форрестера послужила отправной точкой для построения более сложных модифицированных моделей цепочек поставок.

Описание модели Форрестера

Модель Форрестера представляет собой некоторую замкнутую динамическую систему, устойчивость которой зависит от запаздываний, коэффициентов усиления (отражающих возможные управленческие решения) и других параметров модели. Такие модели могут быть весьма полезны для выработки управленческих решений.

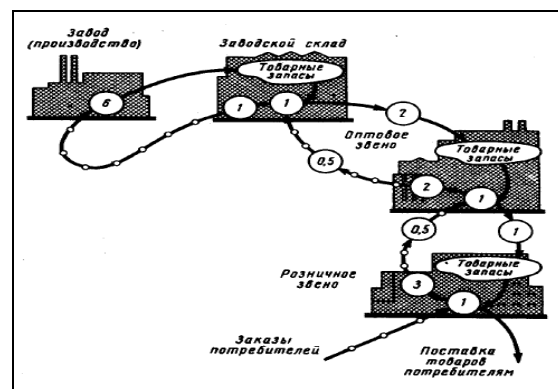


Рис. 1. Модель производственно-сбытовой системы

В модели типовой производственно-сбытовой системы (рис. 1) пунктиром показаны заказы, иду-

щие от потребителей, сплошным – доставка товаров потребителям, т.е. транспортные перевозки [1].

Заказы от потребителей поступают сначала в розничное звено, заказ обрабатывается, на что необходимо некоторое время. Это отображается в модели с помощью запаздывания, фиксированного или распределенного (запаздывания обозначены цифрами в кружках). Если розничное звено не может удовлетворить данное требование, то заказ передается в оптовое звено и т.д. На производственном предприятии принимается решение об изготовлении товара, готовую продукцию передают сначала в оптовое звено, а затем в розничное, которое непосредственно связано с потребителями.

Увеличение темпа продаж требует соответствующего увеличения размещаемых заказов, чтобы сохранить установленный уровень запасов. При увеличении темпов продаж возникает желание повысить уровень запаса, что может быть осуществлено за счет временного размещения дополнительных заказов сверх того количества, которое необходимо для обеспечения установившегося темпа продаж. Все это обуславливает динамику процессов, протекающих в такой системе.

Структура модели и ее переменные

Дж. Форрестер предложил использовать многоуровневую модель, содержащую четыре группы элементов. Это:

- переменные уровней;
- переменные потоков, перемещающие содержимое одного уровня к другому;
- функции решений («клапаны»), которые регулируют темпы потока между уровнями;
- каналы информации, соединяющие решения с уровнями.

Уровни характеризуют возникающие накопления внутри системы. Это товары, имеющиеся на складе, товары в пути, банковская наличность, производственные площади и численность работающих. Уровни представляют собой те значения переменных в данный момент, которые они имеют в результате накопления из-за разности между входящими и сходящими потоками. Уровни можно определить и тогда, когда вся деятельность в системе остановится, т.е. это статические характеристики.

Темпы определяют существующие мгновенные потоки между уровнями в системе. Темп отражает активность, в то время как уровни измеряют состояние, которое является результатом активности в системе. Темпы потока устанавливаются на основе уровней в соответствии с законами, которые определяют вид функции решений.

Функции решений (уравнения темпов) представляют собой формулировку линии поведения. Все решения касаются предстоящих действий и выражаются в форме темпов потока (выдачи заказов, приобретение оборудования, найма рабочей силы). Функция решения может иметь формулу несложного

уравнения, которое определяет простейшую реакцию потока на состояние одного или двух уровней. Функции решений, на основе которых устанавливаются темпы, связаны только с информацией об уровнях, т.е. темпы не определяются другими темпами.

Обоснованность модели определяется обоснованностью каждого входящего в него элемента.

С помощью переменных-уровней в модели Форрестера отображаются:

- задолженность по полученным от покупателей, но еще не выполненным заказам;

- запасы товаров на складе;

- средний темп продаж товаров за последнее время, с учетом которого решается вопрос о желаемом уровне товаров в запасе и в каналах системы. [2];

Темпы потоков характеризуют следующие величины модели:

- темп поступающего от покупателей потока заказов;

- темп отправки товаров покупателям;

- темп исходящего из розницы потока заказов оптовым базам;

- темп полученных товаров от оптовых баз.

Запаздывания в темпах численных потоков являются задаваемыми параметрами. При выборе параметров обращаются не только к теории, но и к предыдущему опыту в памяти людей:

- запаздывание выполнения заказов покупателями розницей;

- запаздывание принятия решений и подготовки исходящих заказов оптовым базам;

- запаздывание при пересылке заказов по почте из розничного звена в оптовое;

- запаздывание при доставке товаров с оптовых баз в розничную торговлю [3].

Описание звеньев системы

Рассматриваются три звена: розничная торговля, оптовая торговля и производство (рис. 1), они очень сходны между собой, поэтому описываются уравнения только для розничного звена. Для него вводятся следующие переменные: y – заказы – [ед]; x – темпы (требования) – [ед/нед]; τ – запаздывания – [нед].

Заказы – это переменные уровней, представляющие собой величины, которые можно определить и в том случае, когда система приведена в состояние покоя.

Уровни: y_1 – заказы, не выполненные розницей; y_2 – фактический запас в розничном звене; y_3 – желательный запас в розничном звене; y_4 – нормальное для розничного звена число невыполненных на текущий момент заказов; y_5 – желательный уровень передаваемых по каналам заказов, определяется потребностями розничной торговли; y_6 – фактический уровень выданных розничным звеном заказов, находящихся в каналах распределения; y_7 – заказы в розничном звене на стадии оформления; y_8 – выданные розничным звеном заказы на закупку

товаров в почтовых каналах; y_9 – заказы, не выполненные оптовыми базами; y_{10} – товары, находящиеся в пути к розничному звену.

При введении переменных уровня необходимо учитывать связь розничного и оптового звена. Это обеспечивается путем введения переменной, которая характеризует заказы, не выполненные оптовыми базами.

Ту же связь осуществляют при введении переменных темпа. Это требования, получаемые оптовыми базами, и поставки, осуществленные из запасов оптовых баз.

Темпы: x_1 – требования (заказы), получаемые розничным звеном; x_2 – розничная отгрузка; x_3 – поставки, получаемые розницей; x_4 – проверяемый темп розничной отгрузки; x_5 – усредненные требования к розничной торговле; x_6 – темп закупок розницей, установленных в результате решения; x_7 – выданные розничным звеном заказы на закупку товаров; x_8 – требования, получаемые оптовыми базами; x_9 – поставки, осуществленные из запасов оптовых баз; x_{10} – поставки, пополнившие запасы розничной торговли.

Запаздывания: τ_1 – запаздывание выполнения заказов розничным звеном; $\tau_{1\min}$ – минимальное запаздывание выполнения заказов; $\tau_{1\text{ср}}$ – среднее запаздывание выполнения заказов; τ_2 – запаздывание усреднения требований к розничному звену; τ_3 – запаздывание регулирования запасов в розничном звене; τ_4 – запаздывание оформления заказов в розничном звене; τ_5 – почтовое запаздывание отправленных из розницы заказов; τ_6 – запаздывание выполнения заказов оптовыми базами τ_7 – запаздывание транспортировки товаров в розничное звено.

Классы уравнений модели

В реальной системе бухгалтерского, экономического, производственного и др. учета пользуются дискретными переменными. В связи с этим целесообразно использовать не непрерывные дифференциальные уравнения, а конечно-разностные. Уровни и темпы можно считать постоянными в течение определенного интервала времени. Чем короче будут интервалы, тем более полным будет приближение к «настоящей» кривой.

Уравнения связи между переменными

Предполагается, что, в соответствии с введенными переменными, различаем уравнения уровней, уравнения темпов и вспомогательные уравнения.

Уравнения уровней показывают, каким образом можно определить уровни в момент времени t , основываясь на знании уровней в предыдущий момент времени и темпов на протяжении данного интервала (темпы играют роль входящих и исходящих потоков). Например, в таком виде:

$$y_1[t] = y_1[t-1] + \Delta t(x_1[t-1, t] - x_2[t-1, t])$$

или, что то же самое,

$$y_1 = y_{1t=0} + \int_0^t (x_1 - x_2) dt.$$

Вся необходимая информация может быть получена из предшествующего интервала времени. Уравнения уровней не зависят друг от друга, решение каждого из них зависит только от полученной информации.

Уравнения темпов решаются в настоящий момент времени после того, как решены уравнения уровней. Поэтому значения уровней в настоящий момент могут служить вводами для уравнения темпов. Предполагается, что уравнения темпов также не зависят друг от друга. Примером уравнения уровня является следующее:

$$x_7[t, t+1] = f_3(x_6[t-1, t], \tau_4).$$

Вспомогательные уравнения являются промежуточными; они могут быть подставлены одно в другое, а затем в уравнения темпов. Вспомогательные уравнения решаются в настоящий момент времени после решения уравнения уровней и прежде решения уравнений темпов. В отличие от уравнений уровней и уравнений темпов, вспомогательные уравнения нельзя решать в произвольной последовательности, так как одни вспомогательные уравнения могут быть составными частями других.

Заказы розничного звена:

$$y_1[t] = y_1[t-1] + \Delta t(x_1[t-1, t] - x_2[t-1, t]).$$

Уровень запасов в розничном звене:

$$y_2[t] = y_2[t-1] + \Delta t(x_3[t-1, t] - x_2[t-1, t]).$$

Розничная отгрузка:

$$x_2[t, t-1] = y_1[t]/\tau_1[t].$$

Проверяемый темп розничной отгрузки:

$$x_4[t] = y_2[t]/\tau_1[t].$$

Предельный темп розничной отгрузки:

$$x_{2\max}[t] = y_2[t]/\Delta t.$$

Отгрузка розничного звена:

$$x_2[t, t+1] = \left\{ \begin{array}{l} x_4[t], x_{2\max}[t] \geq x_4[t] \\ x_{2\max}[t], x_{2\max}[t] < x_4[t] \end{array} \right\}.$$

Запаздывания и усреднение требований отгрузки товаров:

- запаздывание выполнения заказов розничным звеном

$$\tau_1[t] = \tau_{1\min} + \tau_{1\text{ср}} \cdot y_3[t]/y_2[t];$$

- желательный запас в розничном звене

$$y_3[t] = k_3 \times x_5[t];$$

- усреднение требований к розничному звену

$$x_5[t] = x[t-1] + \Delta t \times \tau_2^{-1} \times (x_1[t-1, t] - x_5[t]).$$

Возобновление запасов товаров взамен проданных:

- темп закупок розничным звеном, устанавливаемый в результате принятия решения

$$x_6[t, t+1] = x_1[t-1, t] + \tau_3^{-1} \times [(y_3[t] - y_2[t]) + (y_5[t] - y_6[t]) + (y_1[t] - y_4[t])].$$

Уравнения заполнения каналов:

- желательный уровень передаваемых заказов

$$y_5[t] = x_6[t] \times (\tau_4 + \tau_5 + \tau_6[t] + \tau_7);$$

- фактический уровень передаваемых заказов

$$y_6[t] = y_7[t] + y_8[t] + y_9[t] + y_{10}[t];$$

- нормальное число невыполненных заказов

$$y_4[t] = x_5[t] \times (\tau_{1_{\min}} + \tau_{1_{\text{сред}}})$$

Размещение заказов розничной торговли в оптовой:

- заказы в розничном звене в стадии оформления

$$y_7[t] = y_7[t-1] + \Delta t(x_6[t-1, t] + x_7[t-1, t]);$$

- выданные розничным звеном заказы на закупку товаров

$$x_7[t, t+1] = f_3(x_6[t-1, t], \tau_4).$$

Почтовые операции розничного звена:

- заказы на закупки, находящиеся в почтовых каналах

$$y_8[t] = y_8[t-1] + \Delta t(x_7[t-1, t] + x_8[t-1, t]);$$

- требования, получаемые оптовыми базами

$$x_8[t, t+1] = f_3(x_7[t-1, t], \tau_5).$$

Транспортировка товаров из оптового звена в розничное:

- товары в пути к розничному звену

$$y_{10}[t] = y_{10}[t-1] + \Delta t(x_9[t-1, t] - x_3[t-1, t]).$$

Поставки, пополнившие запасы розничной торговли

$$x_{10}[t, t+1] = f_3(x_9[t-1, t], \tau_7).$$

Приведенные уравнения были составлены для розничного звена. По таким же принципам составляют уравнения для оптовой торговли и для производства. Получив в распоряжение набор параметров системы (запаздываний и др.), таким образом, составляется полная замкнутая система уравнений торгово-производственной системы. Составленные уравнения можно решать любым методом численного интегрирования, получая переходные процессы при различных начальных условиях или реакцию модели на определенные внешние воздействия или изменение ее параметров. Таким образом, получается замкнутая динамическая система, устойчивость которой зависит от запаздываний, коэффициентов

усиления (отражающих возможные управленческие решения) и других параметров модели.

Выводы

В статье рассмотрена технология моделирования экономической системы построенная Дж. Форрестером, которая основана на представлении системы в форме дифференциальных уравнений, описывающих каждое звено, ее составляющее. Основным параметром модели служат запаздывания в звеньях. Результатом построения рассматриваемой модели становится система дифференциальных (конечно-разностных) уравнений. С помощью нее можно имитировать реакцию управляемой системы на различные входные и внутренние возмущения.

Достоинством подхода Дж. Форрестера является детально описанный алгоритм действий моделирования экономических систем. Такие модели могут быть весьма полезны для выработки управленческих решений. Основным недостатком такой системы является невозможность аналитически оценить степень влияния того или иного параметра (например, чувствительность решения к неточному знанию запаздываний) иными словами, сделать какие-либо обобщения касательно принципов управления.

Список литературы

1. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия: (Индустриальная динамика) / Дж. Форрестер. – Москва: Прогресс, 1971. – С. 101-110.
2. Бауэрсокс Д.Д. Логистика: интегрированная цепь поставок / Д.Д. Бауэрсокс, Д.Д. Клосс; пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2001. – С. 111-115.
3. Иванов Д.А. Управление цепями поставок. – С-Пб: СПбГПУ, 2009. – С. 93-98.
4. Миротин Л.Б. Логистика интегрированных цепочек поставок: учебник / Л.Б. Миротин, А.Г. Некрасов. – М.: Экзамен, 2003. – С. 55-57.

Поступила в редколлегию 8.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Н. Жолткевич, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.

СИСТЕМО-ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ЛАНЦЮЖКІВ ПОСТАЧАНЬ

О.О. Стадник

Розглядається системно-динамічна модель ланцюжків постачань, що дозволяє досліджувати поведінку виробничо-збутової системи в часі і залежно від взаємодії між елементами. Приводяться опис і структура моделі, градація ланок моделі і її змінних. Зроблені висновки про застосування побудованої системи.

Ключові слова: ланцюжок постачань, динамічна система, системно-динамічний підхід, рівні, темпи, запізнювання, рівняння роздрібної ланки.

SYSTEM-DYNAMIC MODEL OF CHAINLETS OF DELIVERIES

E.O. Stadnik

The system-dynamic model of chainlets of deliveries, allowing to probe the conduct of the production-sale system in time and depending on co-operation between elements, is examined. Description over and model structure, gradation of links of model and its variables, is brought. Conclusions are done about application of the built system.

Keywords: chainlet of deliveries, dynamic system, system-dynamic approach, levels, rates, delay, equalizations of retail link.