

УДК 658.5
ББК 33

МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ИННОВАЦИОННОГО ТИПА¹

Истомин Д.А.², Гитман М.Б.³

(Пермский Национальный Исследовательский Политехнический
Университет)

Предлагается схема управления производственным предприятием инновационного типа, рассматриваются математические интерпретации функциональных блоков предложенной схемы, производится моделирование работы предприятия во времени.

Ключевые слова: модель производства, инновации, инновационная деятельность.

Введение

В рамках рыночной конкуренции и изменчивости потребностей рынка у производственных предприятий имеется постоянная необходимость не только в контроле объема выпускаемой продукции, но и в изменении ее экономических характеристик, внешних свойств. В качестве механизма, позволяющего осуществить данные изменения, можно рассмотреть внедрение инноваций.

Модели, связанные с введением инноваций, давно изучаются экономической наукой. Существуют предприятия, которые можно условно разделить на две модели сектора экономики: первый

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

² Истомин Денис Андреевич, аспирант кафедры математического моделирования систем и процессов ПНИПУ, (istomin.den@gmail.com).

³ Гитман Михаил Борисович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры математического моделирования систем и процессов ПНИПУ, (gmb@matmod.pstu.ac.ru).

сектор производит товары и услуги; второй сектор производит инновации, которые используются для первого сектора (производство товаров) и второго сектора.

В данной работе рассматривается модель предприятия, которая включает одновременно две функции из вышеперечисленных секторов: производство товара и производство инноваций. Проблему выбора объемов и времени введения инноваций предлагается решить на основе анализа математической модели. В данной модели естественным образом возникает запаздывание $\tau(t)$, которое зависит от объема инвестиций и которое, в значительной мере, определяет возможности предприятия в области инновационной деятельности.

1. Концептуальная постановка

Рассматривается промышленное предприятие инновационного типа. Считается, что на предприятии создан банк инноваций (новых технологий, новых видов продукции, новых материалов и т.п.) на некоторый период времени (аналог фонда развития предприятия [1]). Предприятие производит некоторую номенклатуру продукции и обладает некоторыми ресурсами (материальными, финансовыми и человеческими).

Пусть на рассматриваемый период времени известна функция, описывающая конъюнктуру рынка, а также известен объем возможных капиталовложений в развитие предприятия на некоторый период времени. Необходимо определить какие инновации, в каком объеме и когда необходимо внедрить в производство из имеющегося банка инноваций, чтобы выпускаемая с использованием этих инноваций продукция в наибольшей мере удовлетворяла изменяющейся конъюнктуре рынка при ограничении на производственные ресурсы.

Следует отметить, что разработка и внедрение любых инноваций требует фундаментальных исследований и осуществляется с некоторым запаздыванием, которое зависит от объема инвестиций и которое в значительной мере определяет возможности предприятия в области инновационной деятельности, т.е. способ-

ности к быстрому реагированию на изменяющуюся конъюнктуру рынка.

Предлагается схема управления предприятием инновационного типа, включающая два контура управления, представленная на рис. 1. Верхний контур следит за внешним рынком, а нижний – ориентирован на инновационную деятельность. Особенностью данной модели является наличие запаздывания во втором контуре управления, вносящего эффект «отложенности», возникающей в этом контуре инновации, во времени. Отметим, что инновационное предприятие должно быть ориентировано на долгосрочную перспективу и стратегическое планирование такого предприятия, вследствие этого, носит опережающий характер. Внедрение инновации приносит прибыль предприятию не сразу, так как она может быть не востребована в данный момент времени. Однако, в долгосрочной перспективе инновационное внедрение практически всегда оправдано, причем, прибыль от него обычно очень значительная.

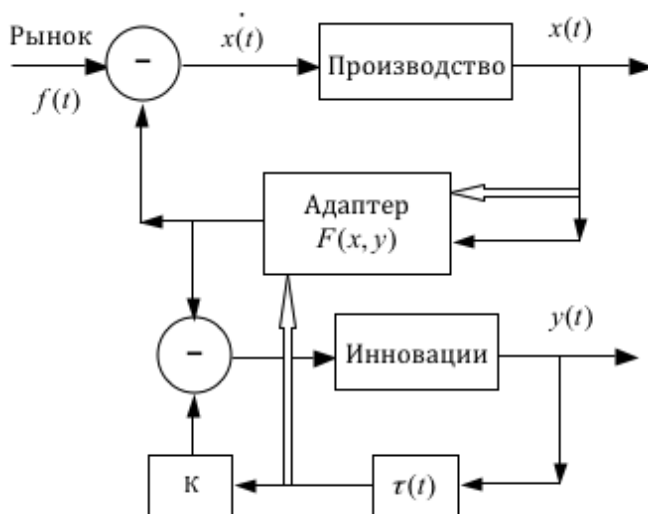


Рис. 1. Структурная модель системы управления предприятием инновационного типа

Процесс развития инновационного предприятия протекает во времени нелинейным образом с запаздыванием, связанным с неспособностью исследуемого предприятия к быстрому (мгновенному) реагированию на изменяющуюся конъюнктуру рынка и внедряемые инновации. Поэтому модель его поведения может быть описана с помощью системы дифференциальных уравнений с запаздыванием. Необходимо исследовать решение данной системы в зависимости от вида функций, описывающих деятельность этого предприятия и оценить возможное поведение производства при имеющихся ресурсах предприятия.

Отметим некоторые свойства модели развития инновационного предприятия, описываемой дифференциальными уравнениями, которые должны быть затронуты. Это прежде всего устойчивость решения системы дифференциальных уравнений. На практическом уровне можно сформулировать так: небольшие неточности в определении состояния предприятия и конъюнктуры рынка не должны существенно влиять на запланированные результаты работы предприятия в сфере инноваций. Второе свойство - сходимости решения. На практическом уровне данное свойство отражает стабильность работы предприятия, относительную устойчивость к внешним и внутренним изменениям, происходящим с течением времени.

2. Математическая постановка

2.1. ОБЩИЙ ВИД СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Модель поведения предприятия, схема которого отражена в рис. 1, может быть описана с помощью системы дифференциальных уравнений следующего вида [2, с. 207]:

$$(1) \quad \begin{cases} \dot{x}(t) + x(t) \cdot F(x, y) = f(t) \\ \dot{y}(t) + K \cdot y(t - \tau(t)) = x(t) \cdot F(x, y) \end{cases}$$

где

x - количество произведенной продукции,

y - количество инноваций

Для того, чтобы решить данную систему необходимо задать функции $f(t)$ и $F(x, y)$. Конъюнктуру рынка можно рассмотреть в виде:

1) $f(t) = f_0 + M \cdot \sin t$, что соответствует относительно стабильной конъюнктуре рынка;

2) $f(t) = f_0 + M \cdot \sin t \pm t$, что соответствует позитивному или кризисному состоянию на рынке;

где

f_0 - начальная конъюнктура рынка,

$M \cdot \sin t$ - периодические колебания рынка

2.2. АГРЕГИРУЮЩИЙ АДАПТЕР

Функция $F(x, y)$ осуществляет операцию семантического перекодирования информации (из банка инноваций предприятия) при передаче ее на уровень производства продукции. Другими словами, эта функция оценивает насколько успешным будет выбор той или другой инновации для увеличения объема выпускаемой продукции. В простейшем случае функция может выглядеть следующим образом:

$$(2) \quad F(x, y) = x + y$$

Развивая и усложняя данную функцию, можно рассмотреть адаптер вида:

$$(3) \quad F(x, y) = \frac{\ln |x \cdot y|}{\tau(t)}$$

Данный вид агрегатора соответствует решению $y(t)$ в виде «динамического хаоса», что в теории информации трактуется как генерация нового знания, а в нашем случае той инновации, которая приведет к росту спроса на данную продукцию [3, с. 139]. Очевидно, что накопление банка инноваций и генерация из него

наиболее продуктивной инновации требует времени, что описывается функцией запаздывания $\tau(t)$.

Рассматривая похожие функциональные зависимости в математической модели существования производителей и управленцев [4, с. 195], функцию свертки информации можно записать в виде:

$$(4) \quad F(x, y) = g \left(\frac{1 + \epsilon_1 y}{1 + \epsilon_2 y} \right) \left(\frac{x}{1 + \sigma x} \right) + hx + ky,$$

где

g - уровень технологичности
(как скоро инновации могут быть применены)

$\left(\frac{1 + \epsilon_1 y}{1 + \epsilon_2 y} \right)$ - влияние инноваций на производство

$\left(\frac{1}{1 + \sigma x} \right)$ - трудность обработки продукции,
зависящая от количества продукции

Уравнение 4 отражает обработку и свертывание информации, полученной в контурах управления. Чем больше производства и инноваций создается в контурах, тем больше можно обрабатывать и внедрить производство. Однако характер участия производства и инноваций разный: инновации способствуют развитию производства. Поэтому в уравнении 4 для F вводятся три слагаемых: первое отвечает скорости обработки информации, второе - вклад производства, третье - вклад инноваций. Два последних слагаемых пропорциональны количеству продукции и инноваций.

3. Численное решение системы

Рассмотрим решение системы 1 при фиксированной конъюнктуре рынка, т.е. $f(x) = \text{const}$. График решения показан на рис. 2 и на рис. 3.

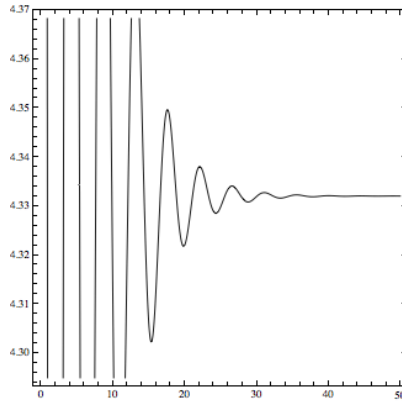


Рис. 2. Количество произведенной продукции

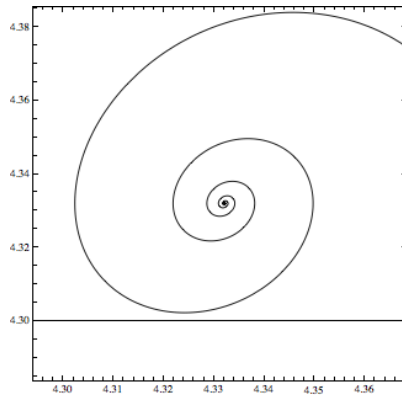


Рис. 3. Фазовый портрет произведенной продукции

Если конъюнктура рынка меняется циклично, например, $f(x) = \sin(x)$, то график решения будет выглядеть: рис. 4 и на рис. 5.

Выясним зависимость количества выпускаемой продукции как функцию от конъюнктуры рынка $f(x)$ и начального количества имеющейся продукции x_0 . В этом случае исходная система 1 примет вид:

$$(5) \quad \begin{cases} \dot{x}(t) + x(t) \cdot F(x, y) = f, \\ \dot{y}(t) + K \cdot y(t - \tau(t)) = x(t) \cdot F(x, y) \end{cases}$$

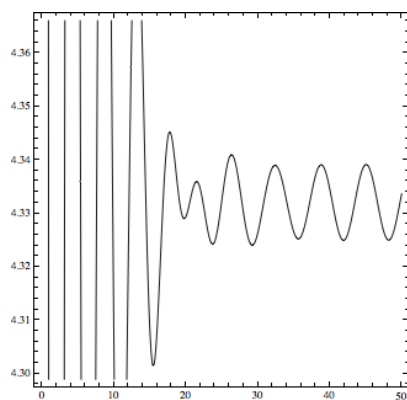


Рис. 4. Количество произведенной продукции при циклических изменениях конъюнктуры рынка

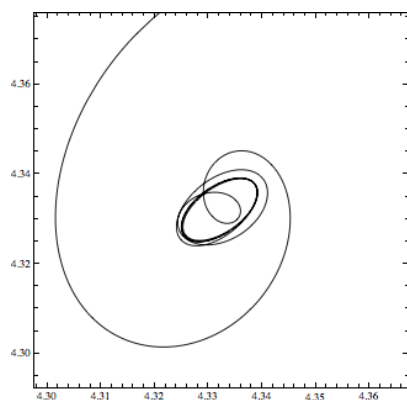


Рис. 5. Фазовый портрет произведенной продукции при циклических изменениях конъюнктуры рынка

Решая оптимизационную задачу $x(t) \rightarrow \max$ при двух ограничениях и достаточно большом t :

$$\begin{aligned} (6) \quad & f_{\min} \leq f \leq f_{\max} \\ (7) \quad & x_{\min} \leq x[0] \leq x_{\max} \end{aligned}$$

методом Нелдера-Мида, выявляется влияние конъюнктуры f на конечный объем выпускаемой продукции. Показано, что это влияние значительно более сильное, чем влияние начального количества продукции $x[0]$.

4. Результаты и выводы

Построена модель с двумя контурами управления, которая описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Численное решение системы показало, что система дает устойчивое решение при конъюнктуре рынка $f(t)$, когда $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \text{const}$. Фазовый портрет такого решения — точечный аттрактор.

При гармонических колебаниях конъюнктуры рынка вида $\sin(t)$ фазовый портрет решения - циклический аттрактор. Если конъюнктура рынка монотонно ухудшается или улучшается ($\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \pm\infty$), то решение расходится, и на это слабо влияют вносимые инновации.

Численное решение задачи оптимизации методом Нелдера-Мида для максимизации выпускаемой продукции по двум критериям (конъюнктура рынка и начальное количество имеющейся продукции) показало, что начальное количество имеющейся продукции на долгосрочные перспективы влияет значительно меньше конъюнктуры рынка. Это может свидетельствовать об устойчивости полученной системы.

Литература

1. БАГРИНОВСКИЙ К.А. *Модели и методы экономической кибернетики* / К.А. Багриновский. – М.: Экономика, 1973. – Глава 1.

2. СИМОНОВ П.М. *Экономико-математическое моделирование: Учеб. пособие: в 2 ч. / П.М. Симонов; Перм. гос. ун-т. — Пермь, 2009. — Ч.1. — 338с.:ил.*
3. СОЛОДОВА Е.А. *Новые модели в системе образования: Синергетический подход: Учебное пособие / Предисл. Г. Г. Малинецкого. №56; №15. Изд. стереотип. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. — 344 с. (Синергетика: от прошлого к будущему.)*
4. ТРУБЕЦКОВ Д.И. *Введение в синергетику. Хаос и структуры / Предисл. Г. Г. Малинецкого. Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 240 с. (Синергетика: от прошлого к будущему.)*

MODEL OF INNOVATIVE MANUFACTURING ENTERPRISE

Denis Istomin, Perm National Research Polytechnic University, Postgraduate student in the systems and processes mathematical modelling department, (istomin.den@gmail.com).

Mikhail Gitman, Perm National Research Polytechnic University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor in the systems and processes mathematical modelling department, (gmb@matmod.pstu.ac.ru).

Abstract: Provides the control scheme of manufacturing enterprise. Reviews mathematical interpretations of scheme's functional blocks. Models enterprise manufacture life cycle.

Keywords: enterprise model, innovations, innovative activities..