

На правах рукописи

ИЛЬИН ИГОРЬ ВАСИЛЬЕВИЧ

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
СИСТЕМАХ

Специальность 08.00.13

Математические и инструментальные методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
доктора экономических наук

Санкт-Петербург

2004

Диссертация выполнена на кафедре «Информационные системы в экономике и менеджменте» государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Официальные оппоненты:

1. Доктор экономических наук, профессор Тютюкин В.К.
2. Доктор экономических наук, профессор Власов М.П.
3. Доктор экономических наук, профессор Карлик А.Е.

Ведущая организация: ЦЭМИ РАН

Защита состоится 17.06.04 в 14 часов  
на заседании диссертационного совета Д212.229.23 Санкт-Петербургского государственного политехнического университета по адресу:

*195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, III учебный корпус, ауд. 506.*

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2004 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
к.э.н., доц.

Сулоева С.Б.

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Разработка экономической стратегии фирмы и оценка стратегических решений являются одними из важнейших задач экономической науки. Существуют различные подходы к количественной оценке стратегических решений. Условно их можно разделить на статический и динамический.

Статический подход позволяет разрабатывать модели для оценки результатов предполагаемого экономического развития фирмы, но при этом не предоставляет возможности исследовать проблемы, связанные с разнообразием динамики процессов, направленных на достижение стратегических целей. В рамках динамического подхода проводились различные исследования. Часть из них направлена на нахождение путей оптимального экономического развития фирмы. Но в условиях нестабильности внешней среды и неопределенности информации о ней задача нахождения оптимального пути развития является актуальной при рассмотрении коротких временных отрезков. Другие исследования посвящены имитационным моделям динамики отдельных составляющих инфраструктуры всей системы экономической стратегии фирмы. Также строились динамические модели стратегий, описывающие механизмы взаимодействия разнообразных хозяйственных субъектов в ходе реализации проектов, образующих стратегию.

Таким образом, задача построения нелинейных динамических экономико-математических моделей, имитирующих и оценивающих многовариантную динамику процесса реализации экономической стратегии фирмы как динамической системы взаимоувязанных правил и приемов, при условии нестабильности внешней среды и неопределенности информации о ней представляется весьма актуальной.

В связи с этой проблемой, актуальной задачей представляется разработка конструктивных методов управления динамикой процесса реализации экономической стратегии фирмы.

Динамика экономических процессов, протекающих в течение длительных промежутков времени, является нелинейной. В исследованиях по нелинейной экономической динамике накоплен богатый опыт моделирования экономических процессов на основе использования динамических систем. Анализ моделей, описывающих нелинейные экономические процессы, как правило, весьма сложен и опирается на фундаментальные результаты и аналитические методы экономико-математических и математических исследований. Поэтому разработка конструктивных методов и алгоритмов анализа моделей нелинейных экономических систем и их теоретического обоснования так же весьма актуальна.

**Цель и задачи исследования.** Цель диссертационной работы заключается в разработке экономико-математических моделей, конструктивных методов и алгоритмов качественного анализа динамики нелинейных экономических процессов, их теоретического обоснования, а также их использования для оценки стратегических решений фирмы.

Для достижения поставленной цели диссертационного исследования были поставлены и решены следующие задачи:

- Построение имитационной динамической модели управления стратегическим набором фирмы: стратегических зон хозяйствования, зон стратегических ресурсов, стратегического потенциала фирмы
- Построение имитационной динамической модели системы денежных потоков фирмы в форме динамической системы

- Построение конечной имитационной модели системы денежных потоков фирмы в форме ориентированного графа – графического представления динамической системы денежных потоков
- Разработка метода оценки стратегических решений фирмы на основе анализа графического представления системы денежных потоков фирмы
- Разработка теоретических основ методов анализа динамики экономических процессов на основе анализа графического представления динамической системы.
- Разработка конструктивных методов и алгоритмов анализа динамики экономических процессов на основе анализа графического представления динамической системы.
- Разработка компьютерной программы локализации инвариантных множеств динамических систем для экспериментальной проверки наличия предельных циклов двумерных динамических систем.

**Научная новизна диссертационной работы состоит в** разработке и теоретическом обосновании моделей, конструктивных методов и алгоритмов анализа динамики нелинейных экономических процессов. В том числе разработаны:

- Имитационная динамическая модель управления стратегическим набором фирмы
- Динамические нелинейные модели, имитирующие динамику системы денежных потоков фирмы
- Конструктивный метод отбора предпочтительных траекторий динамики системы денежных потоков фирмы
- Метод отбора системы предпочтительных вариантов динамики реализации экономической стратегии фирмы

- Модели, методы и алгоритмы качественного анализа моделей нелинейной экономической динамики и их теоретическое обоснование
- Компьютерно-ориентированные алгоритмы качественного анализа моделей и процессов в нелинейных экономических системах
- Компьютерная программа локализации инвариантных множеств моделей нелинейной экономической динамики

### **Теоретико-методические основы и методы исследования.**

Теоретико-методической основой диссертационного исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых по проблемам: формирования, реализации экономической стратегии фирмы, математико-экономического моделирования оценок стратегических решений, прикладной символической динамики, теории динамических систем, теории ориентированных графов. Существенный вклад в разработку данных проблем внесли Власов М.П., Глухов В.В., Градов А.П., Зубов В.И., Карлик А.Е., Качалов Р.М., Клейнер Г.Б., Кузин Б.И., Лоскутов А.Ю., Медников М.Д., Михайлов А.С., Окороков В.Р., Осипенко Г.С., Первозванский А. Л., Понтрягин Л.С., Тамбовцев В.Л., Трофимов В.В., Тютюкин В.К., Юрьев В.Н. Среди зарубежных авторов можно назвать следующих: Андерсон А., Барро Р., Бекман М., Бертонеш М., Бурмейстер Е., Ван дер Плюг Ф., Вильсон А., Грандмонд Д., Добелл А., Занг В., Калдор Н., Кларк С., Митчелл В., Найт Р., Нишимура К., Портер М., Пу Т., Самуэльсон П., Семмлер В., Смейл С., Смит Д., Солоу, Торре В., Р., Хакен Н., Хикс Д., Хсу С., Чанг В., Шумпетер Й.

Представленные в диссертации научные положения, методы и алгоритмы вносят вклад в развитие методологии математико-экономического моделирования и анализа динамики нелинейных экономических систем. Они позволили осуществить: моделирование системы дисконтированных денежных потоков фирмы в форме динамической системы, качественный анализ которой при помощи ее графического представления позволяет оценивать стратегические решения фирмы, моделировать и оценивать предполагаемую динамику реализации экономической стратегии, управлять системой денежных потоков, осуществлять качественный анализ моделей нелинейной экономической динамики.

В процессе решения задач диссертационного исследования были использованы принципы и методы формирования экономической стратегии фирмы, предложенные научной школой СПбГПУ, экономико-математического моделирования, методы и алгоритмы прикладной символической динамики, результаты и методы качественного исследования динамических систем, алгоритмы теории ориентированных графов.

**Основная идея диссертационной работы.** В основу исследования динамики процессов в нелинейных экономических системах положен метод графического представления динамических систем. Этот метод позволяет при помощи конечной модели, ориентированного графа, имитировать динамику экономических процессов и проводить их количественный и качественный анализ.

**Объект диссертационного исследования.** Объектом диссертационного исследования являются нелинейные динамические модели, описывающие динамику экономических процессов.

**Предмет диссертационного исследования.** Предметом диссертационного исследования являются конструктивные методы и алгоритмы анализа динамики экономических процессов на основе применения понятия графического представления динамической системы.

**Достоверность и обоснованность научных положений и выводов диссертационного исследования.** Достоверность и обоснованность научных положений и выводов диссертационного исследования подтверждаются непротиворечивым логическим анализом процессов формирования экономической стратегии предприятий; анализом и обобщением отечественных и зарубежных публикаций в области нелинейной экономической динамики; в области прикладной символической динамики; в области теории динамических систем; в области теории ориентированных графов, а также приведенными в диссертации примерами реализации методов качественного анализа моделей нелинейной экономической динамики.

**Практическая значимость.** Практическая значимость результатов диссертационного исследования выражается в разработке имитационных моделей и алгоритмов управления денежными потоками промышленных предприятий в процессе формирования экономической стратегии на основе анализа динамики экономических процессов, и использования предложенной в диссертации методологии анализа нелинейных экономических систем.

Результаты диссертационного исследования носят универсальный характер и могут быть широко использованы для анализа динамики процессов в нелинейных экономических системах.

**Апробация диссертации.** Основные положения диссертации и ее отдельные результаты обсуждались на международных, российских

конференциях и симпозиумах за период с 1994 по 2004 год. В том числе: на третьем всероссийском симпозиуме «Стратегическое планирование и развитие предприятий», ЦЭМИ РАН, 2002, на VII-й Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». СПбГПУ. 2003, на международной научно-практической конференции «Экономические реформы в России», СПбГПУ, 1999, Second International Conference in Dynamic Systems and Applications, Morehouse College, Atlanta, USA, 1996. International Workshop on Math and Tools in Computer Simulation, St. Petersburg, SPSU, 1994, Tools for Mathematical Modeling. SPbSTU 1997,

Материалы диссертации используются в курсах «Теории оптимального управления», «Методы и модели управления фирмой».

**Публикации.** По теме диссертации опубликована одна монография, одна брошюра и восемнадцать научных статей и докладов общим объемом 22, 05 п.л., в том числе авторских 20,2 п.л.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Объем работы 320 страниц машинописного текста. Список литературы - 114 наименований.

## II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы исследования, устанавливаются его цель и задачи, научная новизна, предмет и объект исследования, теоретическая и практическая значимость.

В *первой* главе «Экономическая стратегия фирмы и система денежных потоков» излагаются принципы формирования

экономической стратегии фирмы, предложенные научной школой СПбГПУ. Предлагается характеристика различных вариантов осуществления стратегии при помощи системы дисконтированных входных и выходных денежных потоков фирмы.

Во *второй* главе «Метод формирования и оценки экономической стратегии фирмы» Формулируются принципы управления системой денежных потоков. Осуществляется формализация процесса управления денежными потоками фирмы. Строится имитационная модель управления стратегическим набором фирмы. Разрабатывается инструментарий управления системой денежных потоков и оценки возможных вариантов стратегического развития фирмы.

В *третьей* главе «Применение методов символической динамики в исследованиях по нелинейной экономической динамике» применение метода графического представления динамической системы распространяется на приложения к качественному исследованию моделей нелинейной экономической динамики.

В *четвертой* главе «Теоретические основы применения метода графического представления динамической системы для анализа моделей нелинейной экономической динамики» даются теоретические основы качественного анализа моделей нелинейной экономической динамики на основе сопоставления динамической системе графического представления и его линейного расширения.

### **III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

*1. Динамическая модель характеристики многовариантной динамики реализации экономической стратегии фирмы.* Для характеристики динамики осуществления экономической стратегии

выбрана система денежных потоков фирмы. Система денежных потоков фирмы по большей части не связана с положениями учетной политики фирмы, которые могут отличаться. Это делает ее более пригодной с точки зрения универсальности применения.

Реализация этой идеи базируется на принципах и методах формирования экономической стратегии формирования экономической стратегии фирмы, предложенных научной школой СПбГПУ. В связи с этим рассматриваются проблемы выбора миссии и производственного профиля фирмы, сегментирования внешней и внутренней среды фирмы. Внутренняя среда фирмы рассматривается в виде стратегического потенциала, представляющего собой систему взаимосвязанных способностей фирмы и требуемых для их реализации ресурсов. Внешняя среда фирмы рассматривается как система стратегических зон хозяйствования, зон стратегических ресурсов, групп стратегического влияния.

Экономическая стратегия фирмы как система подвергается декомпозиции на ее составляющие.

Системе составляющих ставится в соответствие система видов деятельности фирмы, реализуемых через систему бизнес процессов, которая определяется элементами стратегического потенциала фирмы.

Функционирование системы бизнес процессов порождает движение денежных средств. Движение денежных средств представляется в форме системы дисконтированных входных и выходных денежных потоков.

Денежные потоки структурируются в соответствии с системой бизнес процессов фирмы, набором стратегических зон хозяйствования и набором зон стратегических ресурсов.

Вводится понятие варианта реализации экономической стратегии фирмы, то есть такой реализации *системы видов деятельности фирмы* через систему бизнес процессов, которой соответствует в каждый рассматриваемый промежуток времени  $[0, t]$  положительная разность суммарного входного и суммарного выходного дисконтированных денежных потоков. Здесь 0 – это начальный момент времени реализации стратегии.

Денежные потоки представляются в виде функций времени. Вводится понятие *носителя* денежного потока как функции времени.

Система денежных потоков отражает динамику деятельности фирмы и может быть интерпретирована, как совокупность траекторий, лежащих в некотором множестве конечномерного евклидового пространства, при движении вдоль которых с течением времени изменяются средние значения денежных потоков. Совокупность всех таких траекторий названа *динамической системой денежных потоков фирмы*. Те траектории, которым соответствуют положительные суммарные значения чистого дисконтированного денежного потока фирмы в каждый рассматриваемый промежуток времени  $[0, t]$  определяют варианты реализации стратегии фирмы. Поэтому на основе управления системой денежных потоков фирмы можно управлять процессом реализации стратегии.

**2. Имитационная динамическая модель управления стратегическим набором фирмы: стратегические зоны хозяйствования, зоны стратегических ресурсов, стратегический потенциал фирмы.** Обозначим все стратегические зоны хозяйствования как:  $C3X_1, K, C3X_\xi,$

зоны стратегических ресурсов:  $ZCP_{1,K}$ ,  $ZCP_{\psi}$ , бизнес процессы:  $BP_{1,K}$ ,  $BP_{\zeta}$ .

Введем следующие обозначения:

$\Delta = [0, T]$  - планируемый период;

$[t_0, t_1] \cup [t_1, t_2] \cup \dots \cup [t_{p-1}, t_p] = \Delta_1 \cup \Delta_2 \cup \dots \cup \Delta_p$  - разбиение планируемого периода на частичные отрезки времени одинаковой длительности;

$\Delta(t)$  - длительность каждого из частичных отрезков;

$X_{q,j}(k)$  - объем  $j$ -го вида продукции, производимого бизнес процессом  $BP_q$ , за промежуток времени  $\Delta_k$ ; (далее все переменные отнесены к промежутку времени  $\Delta_k$ );

$x_{q,j}(k)$  - объем  $j$ -го вида продукции, идущего на промежуточное производственное потребление бизнес процессом;

$Z_{r,q,j}(k)$  - объем  $j$ -го вида ресурса, приобретаемого фирмой в  $ZCP_r$  для процесса  $BP_q$ ;

$a_{qj}$ , - коэффициент прямых материальных затрат внутренних ресурсов на производство единицы продукции  $j$ -го вида, при функционировании процесса  $BP_q$ ;

$b_{qj}$ , - коэффициент прямых материальных затрат внешних ресурсов на производство единицы продукции  $j$ -го вида, при функционировании процесса  $BP_q$ ;

$d_{r,j,i}$  - доля ресурса  $i$ -го вида, приобретаемого фирмой в  $ZCP_r$  для удовлетворения потребности в основных производственных фондах  $j$ -го вида

$Y_{q,i,j}(k)$  - конечная продукция  $j$ -го вида, производимая бизнес процессом  $БП_q$ , продаваемая в  $СЗХ_i$ ;

$\Phi_{qj}(k)$  - объем основных производственных фондов  $j$ -го вида, находящихся в использовании бизнес процессом  $БП_q$ ;

$\Delta\Phi_{qj}(k)$  - прирост основных производственных фондов  $j$ -го вида, находящихся в использовании бизнес процессом  $БП_q$ ;

$f_{j,i}$  - коэффициент фондоотдачи фондов  $j$ -го вида при производстве  $i$ -го продукта;

$p_{i,j}(k)$  - цена единицы продукции  $j$ -го вида, продаваемой в  $СЗХ_i$ ;

$p_{r,j}(k)$  - цена единицы ресурса  $j$ -го вида, покупаемого в  $ЗСР_r$ ;

$Inv_{q,j}(k-u)$  - поток инвестиций за промежуток времени  $[t_{k-1} - u\Delta(t), t_k - u\Delta(t)]$ , обеспечивающие ввод основных фондов  $j$ -го вида для процесса  $БП_q$  в объеме  $\Delta\Phi_{qj}$ ;

$R_{i,j}(k)$  - выручка от реализации продукции  $j$ -го вида в  $СЗХ_i$ ;

$C_q(k)$  - производственные издержки при функционировании  $БП_q$ ;

$Ч_{q,j}(k)$  - численность кадровых ресурсов  $j$ -го вида, занятых в  $БП_q$ ;

$l_{i,j}$  - коэффициент трудоемкости продукции  $i$ -го вида, производимой кадровыми ресурсами  $j$ -го вида;

$З_{q,j}(k)$  - заработная плата кадровых ресурсов  $j$ -го вида, занятых в  $БП_q$ ;

$нФЗП$  - начисления на фонд заработной платы;

$A_q(k)$  - амортизационные отчисления, соответствующие  $БП_q$ ;

Эти обозначения позволяют сформулировать соотношения, определяющие объем производства, продаж продукции, баланса основных фондов и потребности в производственных фондах:

$$\begin{aligned}
 x_{q,j}(k) &= a_{q,j} \sum_i X_{i,j}(k), \\
 \sum_r Z_{r,q,j}(k) &= b_{q,j} X_{q,j}(k), \\
 \sum_q X_{q,j}(k) &= \sum_q \left( x_{q,j}(k) + \sum_i Y_{q,i,j}(k) \right), \\
 \Phi_{q,j}(k) &= \sum_i (X_{q,i}(k) / f_{j,i}), \\
 \Phi_{q,j}(k) &= \Delta \Phi_{q,j}(k) + \Phi_{q,j}(k-1), \\
 \sum_r d_{rj} &= 1,
 \end{aligned} \tag{1}$$

Система линейных уравнений (1) позволяет определять варианты динамики функционирования системы бизнес процессов фирмы. Рассматривая различные распределения продукции, будем получать различные варианты функционирования системы бизнес процессов.

Для того чтобы обеспечить функционирование бизнес процессов необходимо определить поток инвестиций для каждого бизнес процесса. Для этого необходимо ввести в модель цены на продукцию и ресурсы. Имеем:

$$Inv_{q,j}(k-u) = \Delta \Phi_{q,j}(k) \sum_r \sum_i (d_{r,j,i} \cdot p_{r,j}(k)) / (u_0 \Delta(t)), \quad u = 1, K, u_0, \tag{2}$$

где  $u_0 \Delta(t)$  - длительность инвестиционного лага. Кроме того, имеют место соотношения:

$$\begin{aligned}
R_{i,j}(k) &= \sum_q Y_{q,i,j}(k) p_{i,j}(k), \\
\mathcal{C}_{q,j}(k) &= \sum_i X_{q,i}(k) l_{i,j}, \\
\Phi OT_q(k) &= \sum_j \mathcal{C}_{q,j}(k) \mathcal{Z}_{q,j}(k) \cdot (1 + n\Phi ЗП), \\
C_q(k) &= \sum_j X_{q,j}(k) a_{q,j} p_{q,j}(k) + \Phi OT_q(k) + A_q(k) + \\
&\quad + \sum_r \sum_j Z_{r,q,j}(k) p_{r,j}(k).
\end{aligned} \tag{3}$$

На основе построенной модели (1)-(3) возможно построение системы денежных потоков фирмы, структурированных по стратегическим зонам хозяйствования, бизнес процессам и зонам стратегических ресурсов. Целесообразно начать с рассмотрения потоков, порождаемых продажами товаров фирмы, приобретением ресурсов и функционированием бизнес процессов. Для этого необходимо рассмотреть всевозможные предполагаемые распределения по временным промежуткам  $\Delta_i$  и по средним величинам на каждом из этих отрезков следующих показателей:

- цен на товары  $p_{i,j}(k)$  и ресурсы  $p_{r,j}(k)$
- заработной платы  $\mathcal{Z}_{q,j}(k)$
- объемов конечной продукции  $Y_{q,i,j}(k)$

Каждому их распределению соответствует

- качественные и количественные характеристики стратегического набора фирмы
- определенная организация (вариант) функционирования системы бизнес процессов фирмы, деятельность которых направлена на производство продукции фирмы, определяемая из системы (1);

- система денежных потоков, порождаемых продажами товаров, и обеспечением функционирования бизнес процессов, структурированных по стратегическим зонам хозяйствования, бизнес процессам и зонам стратегических ресурсов.

Учитывая нестабильность внешней среды и неточность информации о ней, рассматриваются значения показателей  $p_{i,j}(k)$ ,  $p_{r,j}(k)$ ,  $Z_{q,j}(k)$ ,  $Y_{q,i,j}(k)$  распределенные по промежуткам:

$$\begin{aligned} p_{i,j}^1(k) &\leq p_{i,j}(k) \leq p_{i,j}^u(k), \\ p_{r,j}^1(k) &\leq p_{r,j}(k) \leq p_{r,j}^v(k), \\ Z_{q,j}^1(k) &\leq Z_{q,j}(k) \leq Z_{q,j}^w(k), \\ Y_{q,i,j}^1(k) &\leq Y_{q,i,j}(k) \leq Y_{q,i,j}^z(k). \end{aligned} \quad (4)$$

Задание различных значений ограничений в системе (4) позволяет управлять стратегическим набором фирмы.

**3. Конструктивный метод управления системой денежных потоков фирмы (метод графического представления динамической системы денежных потоков фирмы).** Моделирование системы денежных потоков в форме динамической системы отражает многовариантную динамику процесса реализации стратегии фирмы. Для управления этой системы необходим экономико-математический инструментарий, на основании применения которого можно было бы с достаточной степенью точности изучить все возможные траектории динамической системы денежных потоков.

В качестве такого инструментария предложен метод *графического представления динамической системы денежных потоков фирмы*. При реализации этого метода системе денежных потоков сопоставляется ориентированный граф с конечным числом вершин и ребер. Это сопоставление дает возможность изучать

траектории системы с заданной степенью точности. Конечность этой модели предоставляет возможности управления системой денежных потоков на основе применения алгоритмов теории ориентированных графов.

Поскольку каждый денежный поток представляет собой функцию времени, то можно ввести в рассмотрение временной промежуток, на котором эта функция отлична от нуля – *носитель* этого потока. Носители потоков фирмы могут быть по-разному распределены во времени. Это предоставляет возможность управления системой потоков.

В диссертации сформулированы следующие принципы управления системой денежных потоков.

*Первый принцип* управления системой денежных потоков состоит в различных возможных взаимных расположениях носителей денежных потоков фирмы на рассматриваемом периоде времени  $[0, T]$ .

Другими словами, управление системой денежных потоков включает в себя балансировку потоков по их носителям.

*Второй принцип* состоит в варьировании значений денежных потоков в зависимости от возможностей стратегического потенциала и условий внешней среды фирмы.

*Третий принцип* состоит в рассмотрении всех денежных потоков фирмы как единой системы.

Базовой целью управления системой потоков является возможность такого их взаимного распределения во времени, которое позволяет получить суммарный чистый дисконтированный денежный поток

$$ncf(t) = cif(t) - cof(t),$$

принимаящий положительные значения для любого  $t \in \Delta$ . Здесь

$$cif(t), cof(t)$$

- суммарные входной и выходной дисконтированные денежные потоки.

*Достижение этой цели позволяет рассматривать выработанную стратегию как осуществимую.* Реализация этой цели возможна с помощью некоторого множества предполагаемых вариантов реализации стратегии, так как условию положительности суммарного чистого денежного потока соответствует не обязательно один вариант.

Реализация этих принципов осуществляется на основе применения метода графического представления анализа многовариантной динамики системы денежных потоков фирмы. Теоретической основой применения этого метода является представление системы денежных потоков в форме динамической системы. Система денежных потоков рассматривается на временном промежутке  $\Delta = [0, T]$ . В каждый момент времени  $t \in \Delta$ , вся система значений входных и выходных денежных потоков

$$cif_i(t), i = 1, K, \alpha, cof_j(t), j = 1, K, \beta$$

может быть представляется точкой

$$\begin{aligned} (cif_1(t), K, cif_\alpha(t), cof_1(t), K, cof_\beta) = \\ = (c_1(t), K, c_\omega(t)) \in R^\omega \end{aligned}$$

линейного пространства  $R^\omega$ . Здесь  $\omega = \alpha + \beta$ ,  $c_1(t) = cof_1(t), \dots, c_\alpha(t) = cof_\alpha(t), c_{\alpha+1}(t) = cof_1(t), \dots, c_{\alpha+\beta}(t) = cof_\beta(t)$ . Такие точки называются *состояниями* системы денежных потоков фирмы, или *характеристическими точками*. С течением времени состояние изменяется. Тем самым соответствующая точка  $c(t) = (c_1(t), K, c_\omega(t)) \in R^\omega$  описывает некоторую траекторию в пространстве  $R^\omega$  (*характеристическую траекторию*).

На частичных отрезках  $\Delta_1, K, \Delta_p$  промежутка  $\Delta$  рассматриваются средние значения денежных потоков и

соответствующие состояния системы денежных потоков. Траектории рассматриваются дискретные. То есть траектория – это упорядоченное подмножество  $(c(t_1), K, c(t_p))$  пространства  $R^\omega$ . Каждый денежный поток фирмы может иметь различные носители и принимать различные значения. Следствием этого обстоятельства является наличие множества траекторий вида  $(c(t_1), K, c(t_p))$ . Совокупность всевозможных таких траекторий названа *динамической системой денежных потоков фирмы или характеристической динамической системой*. Обозначим ее через  $DC$ .

Динамическая система  $DC$  представляет собой бесконечное множество траекторий. Изучение динамической системы  $DC$  в диссертационном исследовании проводится на основе сопоставления ей конечной модели, представляющей собой ориентированный граф, который называется *графическим представлением динамической системы денежных потоков фирмы*. Переход к конечной модели возможен за счет некоторой потери точности при описании траекторий. С другой стороны, такой подход позволяет задать точность аппроксимации траекторий заранее, и, теоретически, точность может быть любой.

Графическое представление динамической системы денежных потоков фирмы строится следующим образом. Сначала задается система ограничений денежных потоков. Эта система характеризует возможности стратегического потенциала фирмы, влияние формальных институтов на деятельность фирмы, неопределенность внешней среды и неточность информации о ней.

Совокупность всех ограничений названа *системой, задающей возможные значения денежных потоков фирмы*.

Эта система возможных значений потоков задает всевозможные траектории динамической системы  $DC$ , которые лежат в множестве  $P \subset R^{\omega}$ , определяемом ограничениями на средние значения потоков.

На основе разбиения множества  $P$  строится графическое представление  $G = (V, E)$ , где  $V$  - множество вершин,  $E$  - множество ребер, динамической системы  $DC$ .

На основе алгоритма поиска в глубину на ориентированном графе находятся пути  $i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow \dots \rightarrow i_p$  графа  $G$ . Каждому такому пути соответствует совокупность траекторий системы  $DC$ , отличающихся с точностью до диаметра разбиения множества  $P$ . Поэтому с этой точностью таким путям графа сопоставляются средние значения денежных потоков фирмы. На основе этих значений подсчитываются значения чистого денежного потока и проверяется условие положительности его суммарного значения в каждый рассматриваемый момент времени  $t_i$ ,  $i = 1, \dots, K, p$ , то есть на каждом промежутке  $[0; t_i]$ ,  $i = 1, \dots, K, p$ . Те пути графа  $G$ , которые удовлетворяют этому условию, определяют варианты организации функционирования бизнес процессов фирмы и тем самым варианты реализации экономической стратегии.

Среди денежных потоков фирмы отдельно рассматриваются выходные денежные потоки, порождаемые *транзакционными издержками поиска и анализа информации*. Увеличение и анализ информационных ресурсов позволяет более точно описать систему ограничений на возможные значения системы денежных потоков. С другой стороны получение более точной и полной информации может привести к увеличению транзакционных издержек, которые отражаются в увеличении значений части соответствующих

составляющих выходного потока. Если транзакционные издержки, связанные с получением, обработкой и анализом информации чрезмерно велики, то у фирмы нет ни одной подходящей стратегии экономического развития. С другой стороны, получение более точной и полной информации может приводить к увеличению входных денежных потоков и тем самым чистого денежного потока. Поэтому рассматривается вопрос о необходимом и достаточном объеме информации.

Объем информации характеризуется объемом издержек, связанных с получением и обработкой этой информации. Необходимый объем информации – это объем информации, позволяющий построить систему ограничений значений денежных потоков. Достаточный объем информации – это объем информации, на основе которого, при помощи количественного анализа, можно прогнозировать осуществимость выбранной стратегии экономического развития фирмы. Издержки, связанные с достаточным объемом информации должны быть больше издержек, связанных с необходимым объемом информации.

**4. Конструктивный метод формирования и оценки стратегических решений фирмы на основе анализа системы дисконтированных денежных потоков фирмы.** Анализ системы денежных потоков на основе ее графического представления позволяет управлять этой системой, а значит управлять процессом формирования и оценивать многовариантную динамику реализации экономической стратегии фирмы. Этот метод состоит в реализации следующих шагов:

1. Построение имитационной модели управления стратегическим набором фирмы
2. Формирование ограничений системы всех денежных потоков фирмы.

3. Построение графического представления динамической системы денежных потоков фирмы.
4. Анализ графического представления.
  - a. Построение всех путей  $j_1 \rightarrow K \rightarrow j_p$  графического представления длины  $p$ .
  - b. Разбиение всех таких путей на классы. Каждому такому пути соответствует система минимальных значений входных денежных потоков и максимальных значений выходных потоков на каждом отрезке  $\Delta_i$ , ( $i = 1, K, p$ ), определяемых границами множеств  $P_{i,j}$ . В один класс объединяются пути, которым соответствуют одинаковые минимальные значения входных денежных потоков. Эти классы путей разбивают все множество путей длины  $p$  на непересекающиеся подмножества.
  - c. Из каждого построенного класса выбирается такой путь, которому соответствуют минимальные значения множества максимальных значений выходных денежных потоков.
  - d. Если каждому пути, построенному в п. 4.с соответствует положительное значение чистого суммарного денежного потока за каждый рассматриваемый промежуток времени  $[0, t_i]$ ,  $i \in \{1, K, p\}$  то стратегию фирмы будем называть *осуществимой*. На этом шаге делается вывод о том, что у фирмы есть целесообразная стратегия ее экономического развития.
  - e. Если среди путей, построенных в пункте 4.с есть пути с отрицательным значения чистого суммарного денежного потока за каждый рассматриваемый промежуток времени

$[0, t_i]$ ,  $i \in \{1, K, p\}$ , то строим графическое представление системы денежных потоков для меньшего диаметра множеств  $P_i$  и переходим к п. 4.а.

5. Если в результате реализации п. 4. не удастся сделать вывод об осуществимости стратегии, то на основе управления стратегическим набором СЗХ, ЗСР и СПФ через пересмотр ограничений (4) строится другая система ограничений на возможные значения денежных потоков. Далее переходим к п.3.
6. Если ни один из возможных вариантов управления стратегическим набором не приводит к осуществимой стратегии, то необходим качественный пересмотр стратегического набора.

Совокупность так выбранных путей в п.4.с будем называть *системой путей графического представления, обеспечивающих наибольшие значения чистого денежного потока фирмы*. В нахождении этой системы путей реализуются принципы управления системой денежных потоков.

***5. Конструктивные методы анализа глобальной схемы, проверки условия трансверсальности моделей нелинейной экономической динамики и их теоретическое обоснование на основе анализа графического представления динамической системы и его линейного расширения.*** Применение метода графического представления динамики нелинейных экономических процессов не ограничивается рамками описания анализа динамики системы денежных потоков фирмы. Его возможности значительно шире. Он может быть использован для качественного анализа моделей нелинейной экономической динамики.

Моделирование в нелинейной экономической динамике сопряжено с рядом трудностей качественного анализа построенных

моделей. Как правило, модели описывают экономические процессы, которые в определенных границах устойчивы по отношению к внешним воздействиям. В таком случае и сами модели должны быть устойчивы к возмущениям в определенных пределах, то есть при небольших возмущениях должны описывать качественно те же экономические процессы. По отношению к динамическим системам, которые используются для моделирования, это может означать их структурную устойчивость. Кроме того, во многих моделях структурная устойчивость заменяет оптимальность.

Проверка структурной устойчивости динамических систем весьма затруднительна. В диссертационном исследовании предлагается подход к проверке структурной устойчивости на основе проверки ее достаточного условия – условия трансверсальности.

Условие трансверсальности формулируется следующим образом. Рассмотрим гладкую динамическую систему на гладком компактном многообразии  $M$  класса  $C^\infty$ ,  $f(x) \neq 0$ . Пусть  $X(t, x)$  - решение системы (1), причем  $X(0, x) = x$ . Пусть  $TM(x)$  - касательное пространство к многообразию  $M$  в точке  $x$ . Пусть

$$E^+(x) = \{v \in TM(x) : \|\partial X(t, x)v\| \rightarrow 0, t \rightarrow +\infty\},$$

$$E^-(x) = \{v \in TM(x) : \|\partial X(t, x)v\| \rightarrow 0, t \rightarrow -\infty\}$$

- соответственно устойчивое и неустойчивое подпространства касательного пространства, а  $E^0(x)$  - подпространство, натянутое на вектор  $f(x)$ .

Динамическая система (1) удовлетворяет условию трансверсальности, если для любой точки  $x \in M$

$$TM(x) = E^0(x) + E^+(x) + E^-(x).$$

В диссертации предлагается конструктивный метод проверки условия трансверсальности. Также дается его теоретическое обоснование.

Кроме этого предлагается конструктивный метод построения глобальной схемы динамической системы, полученный на основе сопоставления динамической системе ее графического представления. Он дает возможность локализовать инвариантные множества динамических систем и устанавливать характер связи между ними. Это дает возможность судить о качественных характеристиках экономических процессов, которые описываются этими инвариантными множествами. К таковым относятся, например, наличие циклов деловой активности.

**6. Компьютерно-ориентированные алгоритмы локализации инвариантных множеств, построения глобальной схемы, проверки условия трансверсальности динамических систем их теоретические основы и компьютерная программа локализации инвариантных множеств динамических систем.** В основе предложенных конструктивных методов лежит разработанный алгоритм локализации инвариантных множеств динамических систем. Он позволяет локализовать с заданной степенью точности инвариантные множества. Алгоритм локализации инвариантных множеств был реализован в виде компьютерной программы, текст которой приводится в приложении к диссертации. Действенность метода проверена на известных моделях при помощи разработанной компьютерной программы. Рассмотрим известную модель Т. Пуу экономических циклов:

$$Y_{t+1} = (v - 1 - s)Y_t - \frac{v}{3}Y_{t-1},$$

где  $Y$  - национальный доход, сбережения  $S$  находятся в данном отношении  $s$  к доходу  $S = sY$ ,  $\nu$  характеризует темпы изменения инвестиций:  $\dot{K} = \nu(Y - 1/3K)$ . Сопоставляя этому дифференциальному уравнению второго порядка эквивалентную систему двух дифференциальных уравнений и анализируя ее на основе предлагаемой компьютерной программы, получаем окрестность предельного цикла динамической системы, при  $s = 1$ ,  $\nu = 3$ , наличие которого соответствует существованию циклов деловой активности, описываемых данной моделью (см. рис.1).

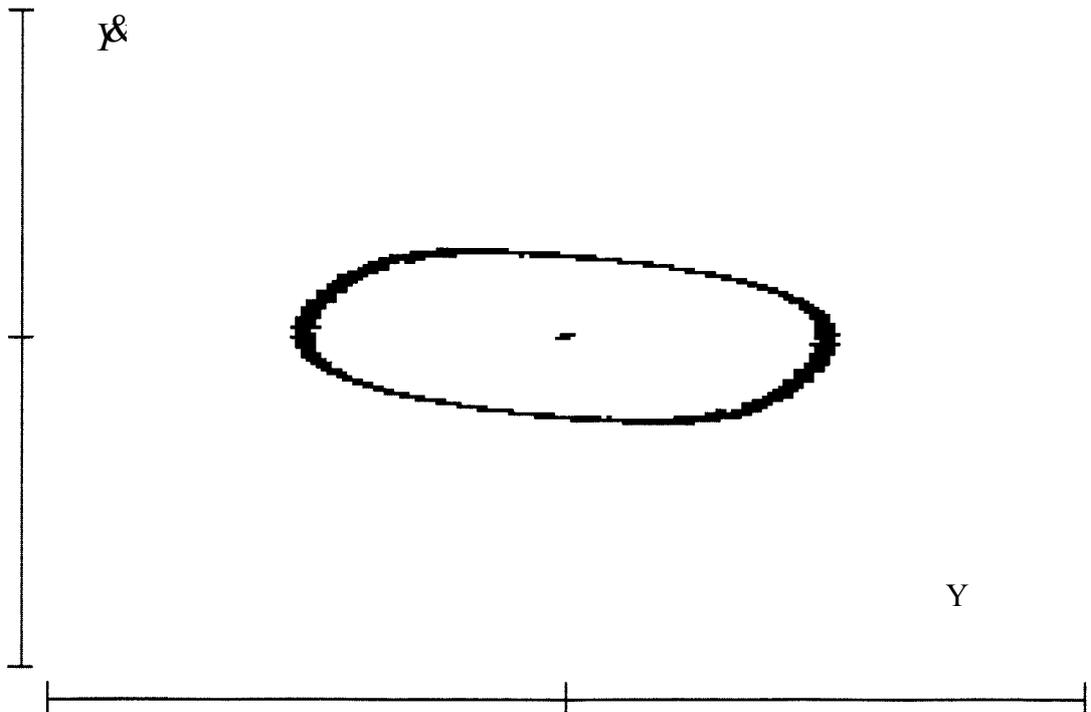


рисунок 1

Алгоритм построения глобальной схемы динамической системы позволяет получить взаимосвязи между инвариантными множествами динамической системы. Алгоритм проверки условия трансверсальности позволяет проверить является ли рассматриваемая модель, описываемая динамической системой структурно устойчивой.

## **Основные выводы и рекомендации**

Диссертационное исследование позволяет сформулировать следующие принципы формирования экономической стратегии.

1. Критерием предпочтительности траекторий стратегического развития фирмы является достижение положительности и роста чистого дисконтированного денежного потока.
2. В качестве инструментария представления процесса формирования экономической стратегии фирмы целесообразно использовать динамическую систему траекторий совокупности денежных потоков фирмы.
3. В качестве инструментария управления системой денежных потоков и оценки стратегических решений целесообразно использовать метод графического представления динамической системы денежных потоков

Разработанный инструментарий носит универсальный характер и может быть использован для качественного анализа моделей нелинейной экономической динамики.

## **Основные публикации автора по теме диссертации**

### **Монографии и брошюры**

1. Ильин И.В. Методы и модели исследования нелинейных процессов экономической динамики. СПб.: изд-во СПбГПУ, 2003 г. С. 162. 10 п.л.
2. Дмитриев В.В., Ильин И.В. Формирование стратегического потенциала «Издательства». СПб.: Специальная литература, 1999. С. 31. 1,9 п.л.

### Научные статьи, доклады

3. Ильин И.В. Принципы оптимизации стратегии как траектории динамической системы. // Третий всероссийский симпозиум «стратегическое планирование и развитие предприятий». ЦЭМИ, М. 2002. С. 75-76. 0.12 п.л.
4. Ильин И.В. Динамическая модель максимизации чистого денежного потока фирмы. // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2002. № 1(27). С. 28-39. 0.72 п.л.
5. Ильин И.В. Применение символической динамики для проверки условия трансверсальности. // Дифференциальные уравнения. 1997. Т. 33, № 4. С. 486-494. 1.2 п.л.
6. Ильин И.В. Исследование глобальной схемы динамической системы методами символической динамики. // Дифференциальные уравнения. 1997. Т. 33, № 6. С. 762-767. 0.8 п.л.
7. Ильин И.В. Оценка транзакционных издержек при формировании экономической стратегии фирмы. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2003. № 4. С. 88-97. 1.1 п.л.
8. Градов А.П., Ильин И.В., Зиновьева Н.М. Проблемы измерения транзакционных издержек // Экономические реформы в России. – СПб.: СПбГПУ, 2003. С. 48-62. 1.2 п.л.
9. Ильин И.В. Проблемы измерения транзакционных издержек, связанных с информационным обеспечением стратегического управления. // В кн. Экономическая стратегия фирмы. Уч. пособ. Под ред. А.П. Градова. 4-е изд., перераб. СПб.: Специальная литература, 2003. 1 п.л.

10. Ильин И.В. Математическая постановка задачи оптимизации распределения ресурсов между элементами стратегического потенциала фирмы// В кн. Экономическая стратегия фирмы. Уч. пособ. Под ред. А.П. Градова. СПб.: Специальная литература, 1999. Второе издание 0.4 п.л.
11. Ильин И.В. Математическая постановка задачи оптимизации распределения ресурсов между элементами стратегического потенциала фирмы// В кн. Экономическая стратегия фирмы. Уч. пособ. Под ред. А.П. Градова. СПб.: Специальная литература, 2001. Третье издание. 0.4 п.л.
12. Ильин И.В. Принципы оптимизации стратегии как траектории динамической системы. // В кн. Экономическая стратегия фирмы. Уч. пособ. Под ред. А.П. Градова. 4-е изд., перераб. СПб.: Специальная литература, 2003. С. 959. 0.8 п.л.
13. Ильин И.В. Методы и модели измерения транзакционных издержек, связанных с обеспечением информацией процесса формирования экономической стратегии фирмы. // VII Международная научно-техническая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении». СПб. 2003. С. 47-48. 0.11 п.л.
14. Ильин И.В. Оптимизация стратегии как траектории динамической системы. //Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий. Материалы научно-практич. конф. и школы-семинара. СПб. 2002. С.133-137. 0.3 п.л.
15. Ильин И.В. Применение символической динамики для построения глобальной схемы динамической системы // Вторая крымская математическая школа «Метод функций Ляпунова и его приложения». Алушта, 1995.С. 70-71. 0.2. п.л.

16. Ильин И.В. Математическое обеспечение процесса управления стратегическим потенциалом фирмы в условиях нестабильности внешней среды // «Экономические реформы в России» Труды конференции. СПб, 1999. 0.2 п.л.
17. Ильин И.В. Оптимизация распределения ресурсов фирмы составляющими ее стратегического потенциала. // «Экономика, экология и общество России на пороге 21-го столетия». Труды международной научно-практической конференции. 1999. С. 13-15. 0.1 п.л.
18. Il'in I.V. Application of symbolic dynamics for simulation of global structure of dynamical system, In: International Workshop on Math and Tools ni Computer Simulation, St. Petersburg, SPSU, Preprint MM-94-01 (1994), P. 32-33. 0.2 п.л.
19. I.V. Il'in, I.V.Komarchev. Application of Symbolic Dynamics and the Theory of Oriented Graphs for Localization of Invariant Sets of a Dynamical System and Tracing its Global Scheme. // Tools for Mathematical Modeling. SPbSTU 1997. P. 27-28. 0.2 п.л.
20. G. Osipenko, I. Il'in. Methods of Applied Symbolic Dynamics. Proceedings of Dynamic Systems and Applications. V. 2 (1996). P. 451-460. 0.9 п.л.