

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА**

**MODELING OF RESTRUCTURING  
ECONOMIC SYSTEMS WITH  
ELEMENT OF STRUCTURAL ANALYSIS**

**Аннотация.** Рассмотрены подходы к моделированию эволюции экономических систем с позиций процесса их реструктуризации, то есть изменения пропорций между элементами системы. Показаны возможности агрегатного подхода, метода биологических, химических аналогий, социо-конфигураций, а также предложена модель управления процессом реструктуризации на основе функции силового формирования экономической структуры и сравнительной оценки взаимовлияния инвестиционных потоков.

**Ключевые слова:** реструктуризация, структурный анализ, моделирование, инвестиции, уравнения кинетики

**Abstract.** The approaches to the modeling of the evolution of economic systems from the point of the process of restructuring, that is, changing the proportions of the elements of the system. The possibilities of the modular approach, a method of biological, chemical analogies, socio-configurations, as well as a model of management of the restructuring process based on the function of the power of economic structures and the comparative evaluation of the mutual investment flows.

**Keywords:** restructuring, structural analysis, modeling, investment, equations of the kinetics

Реструктуризация экономических систем представляется процессом экономических изменений, охватывающих эти системы – соотношение пропорций между составляющими их элементами. Исследования процесса реструктуризации многочисленны, однако, они локализованы в основном областью управления этим процессом, методологией реструктуризации, но математический аппарат для описания этого процесса используется довольно ограниченно.

Реструктуризация экономической системы, во-первых, динамический процесс, протекающий эволюционно под воздействием изменений в науке и технологии, потребностей рынков, изменений в организации и правовых отношениях. Во-вторых, это комплекс планируемых мероприятий, встроенных в общую систему управления экономикой, имеющих чёткие цели. Следовательно, теоретическое обобщение процесса реструктуризации должно предполагать развёртывание усилий по двум направлениям -

эволюционной теории развития экономических систем, рассматривающей проблемы структурной ( институциональной ) организации и структурных изменений, и теории экономической политики реструктуризации, предполагающей использование алгоритма управления процессом реструктуризации, то есть целенаправленного воздействия на изменения пропорций между функционирующими элементами системы.

Эволюционный подход представлен эволюционным моделированием экономических систем. Динамика изменения структуры экономической системы оценивается в рамках этих моделей по изменению макроскопических системных параметров.

Часто в рамках эволюционного подхода используются биологические аналогии, в частности, представление о популяции фирм. Причём. Подобные аналогии используются при создании эволюционных моделей более сложных систем (сектора, отрасли, региона, экономики страны), так и для описания изменения стратегий фирм, участвующих или не участвующих в конкретной популяции. Ключевыми понятиями эволюционного подхода являются: естественный отбор и селекция, наследование признаков, изменчивость, мутация, обучение и механизмы социальной памяти. В создаваемую модель необходимо включить их так, чтобы получить картину процесса, чем-то напоминающего реальный и помогающего понять хотя бы отдельные закономерности его эволюции.

Взаимодействие между фирмами – членами популяции и самими популяциями определяет динамику этих систем, их устойчивость, жизнеспособность, возможности по передаче знаний. Источником мутаций выступают процессы в пределах популяции и внешние воздействия.

Одну из первых эволюционных моделей роста фирмы разработали Р. Нельсон и С. Уинтер, рассматривая рутинизированные процедуры как отправную точку анализа эволюционного процесса. Позже появились эволюционные модели Меткалфа Дж, Силверберга Дж., Ленерта Д. и Верспагена Б [2, 3, 10-12].

Эволюционное моделирование сводится к математической формализации эффектов движения фирм и популяций по действующим правилам, поисковых и селекционных эффектов.

Общий подход к проектированию эволюционных моделей отрасли (популяции фирм) может быть представлен так: имеется  $N$  фирм,  $i$ -ая фирма задается вектором информации, включающим следующие переменные: производственные фонды, показатели производственной функции фирмы, функцию предложения труда в рамках популяции. Кроме этого, поведение фирмы описывается уравнениями, переменные которых выражены в терминах – спроса фирмы (на труд, на инвестиции, на продукт), предложения фирмы, деления продукта по направлениям использования, цен на труд и продукт.

Пусть  $n$  – число возможных в пределах какой-то популяции стратегий (моделей) поведения и  $S_i$  – число фирм – членов популяции, реализующих стратегию поведения  $i$ , тогда вектор  $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$  – задаёт структуру

популяции фирм. Тогда эволюционный процесс приобретает вид Марковского [2, 6]:

$$S(t+1) = P S(t) ,$$

где:

$P=[P_{ij}]$  – матрица вероятностей переходов от одной структуры к другой;

$P_{ij}$  – вероятность того, что фирма сменит стратегию (модель поведения) с  $i$ -ой на  $j$ -ую в течение единичного интервала времени.

Результат экономической эволюции зависит от многих факторов, предсказать которые абсолютно точно не представляется возможным. При моделировании эти факторы (причины) рассматриваются как флуктуирующие силы  $F(t)$ , которые должны быть заданы, так что динамику системы можно описать следующим образом:

$$\frac{dx}{dt} = f(x) + F(t)$$

Колебания роста популяции можно выразить уравнением динамики:

$$\frac{dN(t)}{dt} = \alpha(t)N(t) ,$$

где:  $x$  – главный параметр системы;  $f(x)$  – детерминированная функция системы,  $N(t)$  – объём производства или численность популяции;  $\alpha(t)$  – случайная скорость роста.

В синергетике флуктуирующие силы в дифференциальном уравнении получили название аддитивного, а флуктуации роста – мультипликативного шума [1, 8].

В условиях эволюции промышленных секторов роль флуктуирующих сил играют правительственные программы и изменяющиеся законодательные нормы, а также функционирование других фирм и секторов. В силу этого обстоятельства случайность скорости роста является ограниченной.

Развитие предприятия непосредственно проявляется на стыке взаимодействия факторов внешней и внутренней среды. Внешняя среда задается состоянием спроса, выраженное в привлекательности продукта, производимого в рамках существующей структуры организации и характера внутрифирменных отношений, технологическими новшествами. Внутренняя среда, во взаимодействии с внешней определяющая динамизм организации и её эффективность, может быть задана набором мотиваций членов организации [4].

Можно выделить четыре основных подхода, используемых при реализации эволюционного моделирования [6].

*I. Селекционный.* Согласно данному подходу, рассматривается равновесная популяция фирм, которая может переходить из одного

состояния в другое, причем эти состояния равновесия называют асимптотическими, а проблема их устойчивости трактуется как невозможность вторжения мутантов в пределы равновесной популяции. Применение эволюционной теории игр ограничено именно вследствие работы с асимптотическими состояниями, которые воспринимаются как заданные.

Однако реальные экономические агенты подвержены мутациям, изменениям, которые необходимо отразить в эволюционных моделях, иначе последние перестанут быть таковыми. Тогда возник второй подход.

*II. Игровой.* Учитывает мутаций до наступления асимптотических состояний. Эта схема моделирования согласует отбор с механизмом обучения путем проб и ошибок. Данный вид обучения можно считать примитивным, так как он состоит не в целенаправленном формировании информационного потенциала фирмы путем многократных циклов информации по двум контурам обратной связи, а соответствует правилу “орел или решка”.

*III. Эффект обучения.* Данный подход к моделированию учитывает эффект обучения в процессе эволюции рассматриваемого объекта.

*IV. Нейросети и генетические алгоритмы.* Предполагают использование более сложных механизмов отбора и учёт взаимозависимости объектов. Этот подход к моделированию включает стохастичность протекающих процессов, и реализуются только численно, с применением вычислительных экспериментов, практически исключая получение каких-либо аналитических результатов.

Трудности использования эволюционных моделей состоят главным образом в непредсказуемости моделей поведения, которые могут спонтанно возникать и исчезать, причем чем выше сложность системы, тем больше вероятность того, что она изменит модель поведения при определенных изменениях среды, так как она наиболее умело и быстро идентифицирует это изменение. Однако, множественные информационные искажения, пронизывающие реальные экономические отношения, в процессе распознавания изменения, приводят к случайному выбору модели поведения, не говоря уже о случайности самого изменения.

Применительно к популяции фирм выделим три подхода к проектированию эволюционных моделей.

*1) Агрегатный,* рассматривающий проблемы изменений популяции в общих пара-метрах: объёма производства, числа членов популяции, диффузии технологий и др.

Пусть популяция состоит из  $n$  – фирм, причём валовой продукт каждой  $i$  – ой фирмы в момент времени  $t$  обозначим через  $x_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , тогда:

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = G_i(x_1 \dots x_n) - D_i(x_1 \dots x_n),$$

где:  $G(x_1, \dots, x_n)$  – функция роста,  $D(x_1 \dots x_n)$  – функция диссипации.

Указанные функции можно представить в виде:

$$G_i(x_1, \dots, x_n) = x_i(t) \{ \sum \alpha_{ij} x_j(t) + \beta_i \}, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$D_i(x_1, \dots, x_n) = \gamma_i x_i(t) \sum x_j(t), \quad j = 1, \dots, n,$$

$$\text{или } \frac{dx_i(t)}{dt} = x_i(t) \{ \sum \alpha_{ij} x_j(t) + \beta_i \} - \gamma_i x_i(t) \sum x_j(t), \quad i, j = 1, \dots, n.$$

Все коэффициенты  $\alpha_{ij}$  – положительны при  $i \neq j$  и выражают технико-экономические связи между фирмами популяции [19, 23].

Функция диссипации выражает, что стохастические потери производимого членом популяции продукта пропорциональны его объёму, причём коэффициентом пропорциональности выступает объём валового продукта популяции и коэффициент диссипации  $\gamma_i > 0$ , характеризующий потери во всей популяции.

Совокупный продукт популяции  $P(t)$  в момент времени  $t$  определяется:

$$P(t) = \sum x_i(t), \quad i = 1, \dots, n$$

Таким образом, совокупный продукт популяции является функцией зависящих друг от друга продуктов отдельных фирм-членов  $x_1, \dots, x_n$ .

Если  $P(t) = \sum x_i(t)$ , то:

$$dP/dt = \sum dx_i/dt = \sum_i [ x_i(t) \{ \sum_j \alpha_{ij} x_j(t) + \beta_i \} - \gamma_i x_i(t) \sum_j x_j(t) ], \quad i, j = 1, \dots, n.$$

Полный дифференциал совокупного продукта популяции принимает вид:

$$\frac{dP}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial P}{\partial x_i} \frac{dx_i}{dt}.$$

Исходя из проведенного анализа, решение проблемы распределения инвестиций между фирмами одной популяции, должно сводиться к нахождению такого распределения, которое пропорционально значениям координат градиента функции совокупного продукта  $P(x_1, \dots, x_n)$ .

Понятно, что при всех возможных вариациях, на рассматриваемом интервале совокупный продукт популяции должен быть максимальным при условии, что  $\sum_{i=1}^n x_i = P_0$ , где  $P_0$  – значение совокупного продукта в момент  $t_0$ .

Считая  $x_1, \dots, x_n$  независимыми переменными и применяя метод множителей Лагранжа, исследуем функцию  $f(x) + \lambda \Phi(x)$ , где  $f(x) = dP/dt$ ,  $\Phi(x) = \sum_{i=1}^n x_i - P_0$  на безусловный экстремум, то есть  $\partial f(x) / \partial x_i + \lambda \partial \Phi(x) / \partial x_i = 0$ , что приводит к системе уравнений:

$$\sum_j (\alpha_{ij} + \alpha_{ji} - \gamma_j) x_j + \beta_i - \gamma_i P_0 + \lambda = 0, \quad i, j = 1, \dots, n.$$

Решая эту систему относительно  $x_1 \dots x_n$  можно найти значения  $x_i(\lambda)$  и затем найти требуемые  $\lambda$  из выражения  $\sum_{i=1}^n x_i(\lambda) = P_0$ <sup>1</sup>. Найдя коэффициенты, можно не только отыскать выражение для совокупного продукта популяции, но и решить задачу распределения инвестиционных ресурсов между субъектами популяции.

<sup>1</sup> Нижегородцев Р.М. Теоретические основы информационной экономики. – Владикавказ: Из-во “Проект-Пресс”. – 1998. – 248 с.

Недостатком представленного подхода является априорная заданность функций роста и диссипации. Предложим иную версию агрегатного подхода для популяции, исключая названный недостаток. Представим функцию роста и диссипации за период  $[0; T]$  следующим образом:

$$P(t) = \sum [G_j - D_j] = \sum_{j=1}^N \mu_j x_j - x^T K x \rightarrow \max \text{ при: } \sum_{j=1}^N x_j \leq M, x_j \geq 0, M_{1j} \leq x_j(t) \leq M_{2j},$$

$$\mu^T x \geq G_R, r_{1j} \leq r_j(t) \leq r_{2j}, r_j(t) = f(x_j(t)) = \frac{V_j}{x_j}, \mu_j = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T r_j(t), K = [\sigma_{ij}^2],$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_i(t) - \mu_i)(r_j(t) - \mu_j).$$

где:  $x_j$  – величина денежного обеспечения функционирования  $j$ -ой фирмы в популяции на интервале  $[t_1; t_2]$ .

$M$  – общий объём денежной массы, потребляемой популяцией в единицу времени;

$V_j$  – приобретённый реальный доход  $j$ -ой фирмой в единицу времени;

$M_{1j}, M_{2j}, r_{1j}, r_{2j}$  – нижняя и верхняя границы монетарного диапазона для  $j$ -ой фирмы в виде величины денежной массы и коэффициента отдачи.

$r_j$  – величина отдачи вложенных средств  $j$ -ой фирмой на элементарном интервале времени  $[t_1; t_2]$ ;

$\mu_j$  – средняя отдача  $j$ -ой фирмы на интервале  $[0; T]$ , включающем интервал  $[t_1; t_2]$ ;

$G_R$  – предел роста всей популяции.

Максимум функции  $P$  будет достигнут, когда:

$$\sum_{j=1}^N \left[ \frac{\partial \mu_j}{\partial t} x_j + \frac{\partial x_j}{\partial t} \mu_j \right] - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left\{ \frac{\partial \sigma_{ij}^2}{\partial t} x_i x_j + \frac{\partial x_i}{\partial t} x_j \sigma_{ij}^2 + \frac{\partial x_j}{\partial t} x_i \sigma_{ij}^2 \right\} = 0, \quad (12)$$

$$\frac{\partial \mu_j}{\partial t} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{\partial r_j(t)}{\partial t}, \quad \frac{\partial r_j}{\partial t} = \frac{\partial V_j}{\partial t} \frac{1}{x_j} - \frac{V_j}{x_j^2} \frac{\partial x_j}{\partial t}.$$

Подставив значения для  $\mu_j$  и  $r_j$  в выражение (12), будем иметь систему  $N$  уравнений для  $N$  членов популяции, решая которую получим вектор  $x = \{x_1, \dots, x_N\}$  – распределения ресурсов между членами популяции таким образом, чтобы совокупный продукт был максимальным на данном интервале времени. Динамическая трактовка будет выглядеть точно также, только максимальный продукт потребует иметь на каждом интервале  $[0; T_1] \dots [T_{n-1}, T_n]$ . Величина  $x_j$  – это изменение монетарного обеспечения  $j$ -ой фирмы в границах её монетарного диапазона на элементарном интервале времени. Величина  $\frac{\partial V_j}{\partial t}$  войдёт в систему и есть не что иное как изменение реального дохода, приобретаемого  $j$ -ой фирмой популяции.

Подобная постановка сразу включает задачу распределения инвестиций между членами популяции, так как её субъекты функционируют в границах монетарного диапазона и через это понятие осуществляется

моделирование их поведения. Точнее, формируется модель динамики  $N$  взаимодействующих монетарных диапазонов, каждый из которых представляет  $j$ -ую фирму.

2) *Биологических аналогий*, когда моделируется ситуация “хищник-жертва” в виде мастер-уравнения с вытекающим установлением правил “естественного отбора” [1].

Экономическая система представляется двумя группами антогонистических субъектов, выполняющих роль хищника и жертвы, например, наёмными работниками и менеджментом, растущей и стагнирующей популяцией. В таком случае система хорошо описывается мастер-уравнением “хищник-жертва”:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha(y_1 - y)x,$$

$$\frac{dy}{dt} = \beta(x - x_1)y$$

Для  $i$ -го члена популяции процесс противоборства заключён в реструктуризации, когда новый продукт или технология, или оргструктура – являются “хищником”, а старые аналоги – “жертвой”. То же относится к соперничеству фирм в рамках одной популяции – одна фирма развивает свою деятельность на новых идеях, другая использует старые методы и проигрывает в конкуренции. В частности, предприятия оборонно-промышленного комплекса соперничают по поводу приобретения финансовых ресурсов на свои проекты в рамках правительственных программ.

Популяционная динамика всегда стохастична, то есть в системе присутствует некоторая случайная переменная  $X(t)$ , а эволюция системы определена в вероятностном смысле. Пусть  $N$  – число фирм некоторой популяции и необходимо исследовать появление новых фирм в пределах этой популяции. Обозначим вероятность увеличения численности популяции с  $N$  до  $N+1$  субъектов на бесконечно малом отрезке времени  $\delta t$  пропорциональной  $N$  и  $\delta t$  как:

$$P\{N \rightarrow N+1; (t, t + \delta t)\} = \alpha N \delta t,$$

На бесконечно малом отрезке времени изменение численности популяции будет задано функцией:  $dn/dt = \alpha N$ . Однако при нелинейной зависимости вероятности от объёма популяции  $P\{N \rightarrow N+1; (t, t + \delta t)\} = \alpha N (1 - N/\beta) \delta t$ , изменение численности популяции примет вид:

$$dn/dt = \alpha N - \alpha F(N^2)/\beta, \text{ где } n = F(N).$$

Вероятностный закон подбирается так, чтобы соответствовать системе “хищник -жертва”. Кроме того, задаются правила поведения хищника и жертвы. Чтобы получить адекватную модель, следует формализовать эти правила, выводя их из реальных событий поведения фирм в популяции. Однако даже такой подход не сможет снизить неточности при моделировании закона изменения вероятности.

3) *Социо-конфигураций*, при котором динамика макроскопических переменных описывается при помощи вероятностного феноменологического

описания микроэлементов, причём по их эволюции восстанавливается характер изменений в макроструктурах. Подробно этот метод раскрывает Б.Занг [1].

Пусть рассматриваемая популяция состоит из  $N$  фирм, из которых можно выделить  $P$  подгрупп  $P_k$  ( $k = 1, \dots, P$ ), каждая из которых состоит из  $N_k$  членов:  $N = N_1 + \dots + N_k + \dots + N_p$ , причём величины  $N_k$  – могут изменяться. Допустим, что существует некоторое количество моделей поведения фирм –  $M$ , относящихся к определённым областям – как передача знаний, потребление полученного дохода, производство и т.д. Для каждой модели  $m$  ( $m = 1, \dots, M$ ) существует  $d_m$  различных позиций ( $i_m = 1, \dots, d_m$ ). Пространство позиций  $U$  размерности  $M$  состоит из  $M$  различных моделей. Позиции или стратегии фирмы можно обозначить вектором  $i = \{i_1, \dots, i_M\}$ . Тогда число возможных комбинаций позиций (стратегий) будет задано:  $J = \prod_{m=1}^M d_m$ .

Поскольку фирмы реализуют различные стратегии, отстаивают разные позиции, постольку, обозначив  $n_{ki}$  – число членов подгруппы  $P_k$ , имеющих стратегию  $i$ , а общее число фирм, следующих стратегии  $i$  –  $N_i$ , получим:

$$N_i = n_{i1} + \dots + n_{ip}, \quad N_k = n_{k1} + \dots + n_{kj}$$

Откуда следует определение социо-конфигурации, описывающей микроэкономическое состояние системы. При изменении  $n_{ki}$  в момент времени  $t$  имеем социо-конфигурацию:  $n(t) = \{n_{ki}(t), k=1, \dots, P, i=1, \dots, J\}$  из  $R = P \cdot J$  неотрицательных целых элементов. Однако для описания популяции фирм проведенных выкладок недостаточно, поскольку в них не фигурирует ресурсная составляющая популяции и количественные параметры, характеризующие её изменение. Допустим, что существует количественная мера  $y_c$  ( $c = 1, \dots, L$ ), охватывающая  $L$  – мерное пространство состояний  $H$ . Тогда каждое динамическое состояние описывается вектором  $y(t) = \{y_1(t), \dots, y_L(t)\}$ , принадлежавшим пространству  $H$ .

Общий вывод гласит, что эволюция популяции описывается изменением во времени взаимодействующих векторов, задающих социо-конфигурацию и ситуацию, характеризуемую определённым распределением ресурсов и издержками.

Наиболее перспективным подходом из трёх приведенных к моделированию эволюции популяций является метод социо-конфигураций, позволяющий учесть агрегатный подход и метод биологических аналогий.

С позиций применения структурного анализа у процесса реструктуризации (имеется в виду процесс, на который можно повлиять в управленческом смысле) экономической системы имеются три структурные составляющие:

1) самостоятельные решения фирмы относительно реструктуризации, касающиеся распределения усилий между новым и старым продуктом, технологией, а также системы управления;

2) решения государственных органов относительно инвестирования в растущие или стагнирующие предприятия, популяции фирм и сектора (отрасли);



3) размещение банками своих капиталов между финансовым и промышленным секторами.

Построим структурную модель инвестиционной динамики, учитывая названные три аспекта<sup>2</sup>. Введём ряд допущений.

Во-первых, будем считать, что на уровне фирмы, рынков промышленности и региональных систем существуют микроэкономические различия, выражающиеся в гетерогенности продуктов и производственных процессов. Именно в силу этих различий предприятия, банки и правительства регионов изменяют свою стратегию, в частности, инвестиционную.

Во-вторых, перечисленные субъекты складывают единый портфель инвестиций, испытывающий перманентные сдвиги различной глубины.

В-третьих, переключение стратегий, предпринимаемое экономическими агентами является причиной промышленных колебаний и происходит каждый раз с определённой вероятностью, возникающей благодаря множеству причин, например, эффективным или неэффективным системам принятия решений, изменениям институциональной среды и др.

Определение названного портфеля – это прежде всего описание конфигурации инвесторов, принимающих инвестиционные решения и собственно инвестиций.

В соответствии с выделенными тремя составляющими процесса реструктуризации (трактуемый в управленческом смысле), инвестиции могут распределиться между: новым (экспансия) и старым (совершенствование) продуктом (технологией); растущими и сокращающимися предприятиями и популяциями; финансовыми активами и проектами промышленных предприятий.

В связи с этим введём три структурных индекса, характеризующих указанные распределительные эффекты:

- индекс структуры инвестиций для *i*-ой фирмы:  $Z_i(t) = [I_{ni}(t) - I_{oi}(t)] / I_i(t)$ ;

- индекс реструктуризации:  $R(t) = [I_g(t) - I_d(t)] / I_R(t)$ ;

- индекс структуры банковского капитала:  $B(t) = [I_p(t) - I_f(t)] / I_B(t)$ .

где:  $I_i(t) = I_{ni}(t) + I_{oi}(t)$ ,  $I_R(t) = I_g(t) + I_d(t)$ ,  $I_B(t) = I_p(t) + I_f(t)$  - соответственно инвестиции в предприятие –  $I_i(t)$ , распределяемые им между новым –  $I_{ni}(t)$  и старым –  $I_{oi}(t)$  – продуктами (технологиями); программные инвестиции в реструктуризацию промышленного сектора (популяции) –  $I_R(t)$ , распределяемые между растущими –  $I_g(t)$  и депрессивными предприятиями –  $I_d(t)$ ; инвестиции банковского сектора (например, региона) –  $I_B(t)$ , распределяемые между промышленными –  $I_p(t)$  и финансовыми проектами –  $I_f(t)$ .

Согласно приведенным зависимостям каждый индекс изменяется в диапазоне [-1; +1], причём динамика является неравновесной. В связи с этим можно разложить компоненты каждой суммы, представив их в виде:

---

<sup>2</sup> Подробнее см.: Сухарев О.С. Экономика технологического развития. – М.: Финансы и статистика, 2008. Институциональная теория и экономическая политика. В 2-х Т. – М.: Экономика, 2007. Сухарев О.С., Шманёв С.В., Курьянов А.М. Синергетика инвестиций. – М.: Финансы и статистика, 2008.

$$I_{ni}(t) = I_{0ni}(t) + S_1(t), \quad I_{oi}(t) = I_{0oi}(t) - S_1(t), \text{ тогда}$$

$$Z(t) = Z_0 + z(t),$$

где:  $z(t) = 2S_1(t) / I_i(t)$ ;  $Z_0 = [I_{0ni}(t) - I_{0oi}(t)] / I_i(t)$ ,  $S_1(t)$  – осциляторный сдвиг<sup>3</sup>.

Для индекса реструктуризации и структуры банковского капитала получатся аналогичные выражения с осциляторными сдвигами  $S_2(t)$  и  $S_3(t)$ .

Пусть  $n_n, n_o, n_g, n_d, n_p, n_f$  – число соответственно новых, старых продуктов, растущих и депрессивных предприятий популяции, промышленных и финансовых проектов. Тогда стратегии инвестиционной деятельности будут заданы парами -  $\{ n_n(t), n_o(t) \}$ ;  $\{ n_g(t), n_d(t) \}$ ;  $\{ n_p(t), n_f(t) \}$ , которые определяют динамику конфигурации инвесторов и инвестиций.

Запишем индекс конфигурации инвесторов как:

$$x_i(t) = [n_{ni}(t) - n_{oi}(t)] / [n_{ni}(t) + n_{oi}(t)] = n_i / N_i, \text{ где } n_i(t) = [n_{ni}(t) - n_{oi}(t)] / 2.$$

$$x_R(t) = [n_g(t) - n_d(t)] / [n_g(t) + n_d(t)] = n_R / N_R, \text{ где } n_R(t) = [n_g(t) - n_d(t)] / 2.$$

$$x_B(t) = [n_p(t) - n_f(t)] / [n_p(t) + n_f(t)] = n_B / N_B, \text{ где } n_B(t) = [n_p(t) - n_f(t)] / 2.$$

Общее число продуктов, фирм популяции и проектов задаётся выражениями:  $n_{ni}(t) + n_{oi}(t) = 2N_i$ ;  $n_g(t) + n_d(t) = 2N_R$ ;  $n_p(t) + n_f(t) = 2N_B$ .

Смена конфигурации инвесторов происходит согласно переходам:

$$\{ n_n(t), n_o(t) \} \rightarrow \{ n_n(t) + 1, n_o(t) - 1 \};$$

$$\{ n_n(t), n_o(t) \} \rightarrow \{ n_n(t) - 1, n_o(t) + 1 \};$$

$$\{ n_g(t), n_d(t) \} \rightarrow \{ n_g(t) + 1, n_d(t) - 1 \};$$

$$\{ n_g(t), n_d(t) \} \rightarrow \{ n_g(t) - 1, n_d(t) + 1 \};$$

$$\{ n_p(t), n_f(t) \} \rightarrow \{ n_p(t) + 1, n_f(t) - 1 \};$$

$$\{ n_p(t), n_f(t) \} \rightarrow \{ n_p(t) - 1, n_f(t) + 1 \}.$$

Нужно отметить, что каждый из субъектов модели принимает решения самостоятельно, практически независимо от других. Поэтому вероятности разных переходов также независимы.

Определим вероятности переходов от одной стратегии к другой, что символизирует движение между конфигурациями инвесторов и дадим трактовку подобного перехода применительно к разным уровням инвестиционного выбора.

Пусть  $p_1(n)$  – вероятность перехода в единицу времени от инвестиций в старые продукты к инвестициям в новые,  $p_2(n)$  – вероятность обратного перехода;  $p_3(n)$  – вероятность перехода в единицу времени от поддержки в рамках программы реструктуризации депрессивного предприятия к поддержке растущего,  $p_4(n)$  – вероятность обратного события;  $p_5(n)$  – вероятность переключения работы банков с финансового сектора в промышленность,  $p_6(n)$  – вероятность обратного события.

<sup>3</sup> Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. – М.: Мир. – 1999

Тогда через вероятности индивидуальных переходов можно выразить полную вероятность изменения конфигурации инвесторов. В общем виде переход  $\{ n_n(t), n_o(t) \} \rightarrow \{ n_n(t) + 1, n_o(t) - 1 \}$  имеет место при полной вероятности  $w_1(n) = n_o p_1(n) = (N - n) p_1(n)$ , а переход  $\{ n_n(t), n_o(t) \} \rightarrow \{ n_n(t) - 1, n_o(t) + 1 \}$  при полной вероятности  $w_2(n) = n_n p_2(n) = (N + n) p_2(n)$ .

Вывод мастер уравнения, описывающего изменение вероятности  $p(n;t)$  конфигурации  $n$  из двух соседних конфигураций  $n - 1$  и  $n + 1$  – нецелесообразен, поскольку, как отмечает Б.Занг, получится  $2N+1$  связанных трудноразрешимых дифференциальных уравнений относительно функции вероятности. Исходя из этого, можно ограничиться тем, что  $p(n;t)$  имеет пик, унимодально относительно своих средних (см. рис.3.8.) и к тому же зависит от сопоставления относительных эффективностей при принятии решений на фирме, в правительстве или банковском секторе, касаемых структуры инвестиций. Для случая с новым и старым продуктом правило “срабатывания” вероятности примет вид:

$$\begin{aligned} E_n / E_o > 1, & \quad p_1(n) \rightarrow 1, p_2(n) \rightarrow 0 \\ E_n / E_o < 1, & \quad p_2(n) \rightarrow 1, p_1(n) \rightarrow 0 \\ E_n / E_o = 1, & \quad p_1(n), p_2(n) \rightarrow 0,5 \end{aligned}$$

где:  $E_n, E_o$  – ожидаемая эффективность инвестиций в новый и старый продукт соответственно.

Графическое представление взаимосвязи вероятности переключения инвестиционной стратегии и отношения ожидаемых эффективностей объектов переключения дано на рисунке 3.9.

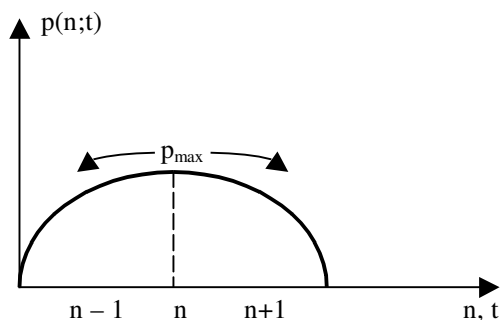


Рис. 3.8. Зависимость вероятности конфигурации  $n$  от переходов  $(n-1), (n+1)$ .

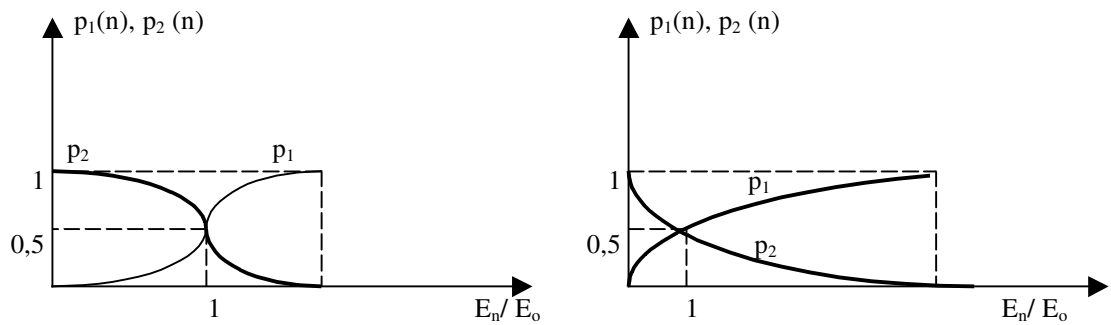


Рис. 3.9. Вероятности переключения инвестиционной стратегии фирмы в зависимости от ожидаемых эффективностей инвестирования в новые и старые продукты

Принимая во внимание проведенный анализ и  $p[n_n, n_o, t] = p(n;t)$ ,  $\sum p(n;t)=1$ , и дифференцируя  $\tilde{n} = \sum_n np(n;t)$  приходим к  $\frac{d\tilde{n}}{dt} = w_1(\tilde{n}(t)) - w_2(\tilde{n}(t))$ .

С учётом выражения для структурного индекса, на основе проделанных выше выкладок, получим уравнение средней величины этого индекса  $\tilde{x}$ .

$$\frac{d\tilde{x}(t)}{dt} = f(\tilde{x}(t)) = \frac{1}{N} [w_1(\tilde{n}(t)) - w_2(\tilde{n}(t))]$$

Проблему реструктуризации, как и управления структурными изменениями в общем виде можно представить так:

$$\frac{dx_i}{dt} = f(x_i, u_i, k_i), \quad \frac{dx_R}{dt} = f(x_R, u_R, k_R), \quad \frac{dx_B}{dt} = f(x_B, u_B, k_B)$$

где:  $f(\dots)$  – функция силового формирования промышленной структуры;

$u_i, u_R, u_B$  – изменяющиеся параметры управления инвестиционной стратегией;

$k_i, k_R, k_B$  – параметры внутренней координации (напряжённости) при переключении инвестиционной стратегии.

Необходимо сразу оговорить, что банки будут переключать свои инвестиционные стратегии только при реальном превосходстве рентабельности проектов в промышленности над финансовыми сделками. Следовательно, начальный импульс развития, когда большое число промышленных предприятий находится в депрессивном состоянии, может быть дан посредством верного определения стратегии инвестирования за счёт компонент  $I_R$  – программ реструктуризации и государственных инвестиций и  $I_i$  – усилий отдельных фирм и популяций.

Инвестиции  $i$ -ой фирмы, с учётом размещения собственных вырубленных средств, можно выразить как:

$$I_i(t) = I_s(t) + a_i I_R + b_i I_p(t) = I_s(t) + a_i I_R + b_i [I_B(t) - I_f(t)],$$

где:  $I_s(t)$  – собственные средства фирмы, которые она инвестирует в собственное развитие;  $a_i = I_{iR} / I_R$  – доля участия фирмы в федеральных и региональных программах реструктуризации или других государственных проектах;  $b_i = I_{ip} / I_p$  – доля участия фирмы в банковском кредитовании промышленности.

Если пренебречь собственными инвестициями фирмы, то:

$$I_i(t) = a_i I_R + b_i I_p(t) = a_i I_R + b_i [ I_B(t) - I_f(t) ]$$

Функцию силового формирования промышленной структуры можно представить в виде:  $f(x_i, u_i, k_i) = \text{sh}(u_i + k_i x_i) - x_i \text{ch}(u_i + k_i x_i)$ , а управляющий параметр в общем виде как:  $du/dt = x_i \text{ch}(u_i + k_i x_i) - \text{sh}(u_i + k_i x_i)$  [10].

При  $u_i > 0$  осуществляется переключение инвестиционной стратегии фирмы со старого продукта на новый, при  $u_i < 0$  – наоборот. Растущая фирма характеризуется  $u_i > 0$ , депрессивная –  $u_i < 0$ . Когда правительство принимает решения в рамках программ реструктуризации промышленности – всегда происходит выбор между растущими и стагнирующими предприятиями, секторами (популяциями). В этом случае  $u_R > 0$  при оказании инвестиционной поддержки растущим фирмам и  $u_R < 0$  – при выборе депрессивных предприятий.

Безусловно, переключение инвестиционной стратегии на  $i$ -ой фирме зависит от того, отобрана ли она для участия в государственной инвестиционной программе, т.е.  $u_i = f(u_R)$ , а переключение стратегии банков зависимо от  $x_R$  индекса конфигурации –  $u_B = g(x_R)$ . Таким образом, только рост предприятий популяции, выражающийся в увеличении индекса  $x_R$  заставит банки изменить свою инвестиционную стратегию (либо снижение доходности по финансовым транзакциям). В целях упрощения анализа и имитационной модели банковский сектор рассматриваться не будет.

Управление переключателем  $u_R$  можно привязать к следующему правилу: если “ростовые” инвестиции –  $I_g$ , приходящиеся на одну фирму популяции, превосходят депрессивные инвестиции –  $I_d$ , приходящиеся также на одну фирму популяции в момент времени  $t$  ( $\frac{I_g}{n_g + n_d} > \frac{I_d}{n_g + n_d}$ ), тогда при принятии решения в следующий момент  $t+1$  необходимо осуществить выбор в пользу депрессивных фирм –  $u_R < 0$ ; если  $\frac{I_g}{n_g + n_d} < \frac{I_d}{n_g + n_d}$ , то переключение стратегии возможно в пользу растущих предприятий –  $u_R > 0$ .

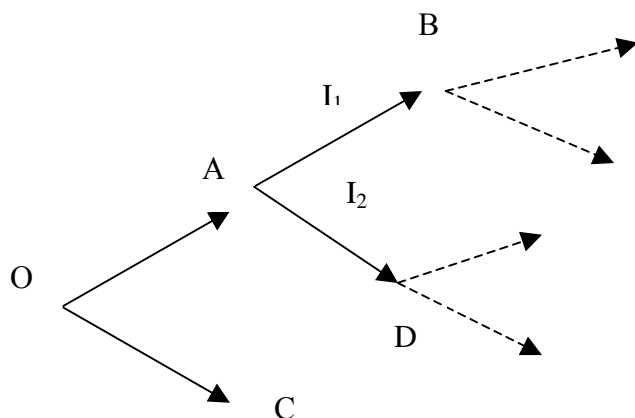
Положительность индекса конфигурации  $x_R$  означает, что в популяции число растущих фирм преобладает над числом депрессивных. Положительность индекса  $x_i$  говорит о преобладании доли новой продукции в структуре выпуска предприятия [5, 6].

Однако, структурный анализ много шире, чем представлен выше. Он предполагает использование аналогий, не только механических и биологических, но, например, и химических. В частности, можно использовать модели из химической кинетики для описания скоростей инвестиционного потока, которые имеет два или три или больше векторов приложения, которые взаимодействуют между собой. Это позволяет

осуществить постановку в рамках синергетики, то есть взаимного усиления или ослабления этих потоков<sup>4</sup>.

Каждая экономическая система осуществляет преобразование некоторого набора ресурсов в продукцию. Вне зависимости от специализации системы и специфики её функционирования, по существу, типы используемых ею ресурсов одинаковы – основные средства, оборотные средства и труд.

В общем, виде процесс функционирования системы представим в виде трёхвекторной диаграммы, задающей структуру инвестиций в системе:



где ОС- инвестиции в человека;

ОА- инвестиции в производство;

АВ- инвестиции в основные средства, которые можно подразделить на производственные и непроизводственные;

АD-инвестиции в оборотные средства, которые подразделяют на оборотные производственные фонды и фонды обращения.

Тогда, кинетические уравнения отдельных потоков следующие [7]:

$$V_1 = \frac{dI_1}{dt} = k_1(I-x) ; \quad V_2 = \frac{dI_2}{dt} = k_2(I-x)$$

скорость суммарной реакции 
$$V = -\frac{d(I-x)}{dt} = \frac{dx}{dt}$$

Из уравнения процесса следует, что в сумме величина  $I_1$  и  $I_2$  равны величине  $I$ , т.е.  $I = I_1 + I_2$ . Поэтому 
$$V = \frac{dx}{dt} = \frac{dI_1}{dt} + \frac{dI_2}{dt} = V_1 + V_2$$

Подстановка  $V_1$  и  $V_2$  в формулу суммарной скорости даёт:

$$V = \frac{dx}{dt} = k_1(I-x) + k_2(I-x)$$

<sup>4</sup> Метод подобного описания структуры инвестиций в системе разработан С.В.Шманёвым (идея применения уравнений химической кинетики) и О.С.Сухаревым (идея приложения в рамках трёхвекторной диаграммы разделения инвестиционного потока в системе) – прим. авт.

$$\text{Отсюда } \frac{dx}{I-x} = (k_1 + k_2) dt$$

После интегрирования и подстановки пределов получаем

$$\ln \frac{I-x}{I} = -(k_1 + k_2)t$$

$$\text{Поэтому } I-x = Ie^{-(k_1 + k_2)t}$$

Дальнейшие преобразования дадут [7]:

$$V_1 = \frac{dx_1}{dt} = k_1 I e^{-(k_1 + k_2)t}$$

$$\text{Отсюда } x_1 = \int_0^t k_1 I e^{-(k_1 + k_2)t} dt \quad \text{или}$$

$$x_1 = \frac{k_1 I}{k_1 + k_2} (1 - e^{-(k_1 + k_2)t})$$

$$\text{Аналогично находим } x_2 = \frac{k_2 I}{k_1 + k_2} (1 - e^{-(k_1 + k_2)t})$$

Преобразуя сумму констант скоростей инвестиционных процессов

$$k_1 + k_2 = k_1 \left(1 + \frac{k_2}{k_1}\right) = k_1 \left(1 + \frac{x_2}{x_1}\right) = k_1 \frac{x}{x_1}$$

$$\text{находим } k_1 = \frac{x_1}{x} (k_1 + k_2) \quad \text{или}$$

$$k_1 = \frac{x_1}{x} \frac{1}{t} \ln \frac{I}{I-x}$$

$$k_2 = \frac{x_2}{x} \frac{1}{t} \ln \frac{I}{I-x}$$

Таким образом, структурный анализ функционирования экономической системы (по скоростям отдельных процессов) позволяет определить кинетический закон отдельных стадий параллельных процессов. Отсюда можно получить уравнения для системы, вырази продукт, ресурс и прибыль через инвестиции и их скорости [7]:

$$I \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} Y,$$

Где:  $k_1$  – константа интенсивности трансформации этих потоков.

$I$  – инвестиционный поток;

$P$  – прибыль системы;

$Y$  – рост средних переменных издержек системы (AVC) в долгосрочном периоде (отрицательный эффект от увеличения масштабов производства)

$$\text{Пусть при } t=0 \quad I=I_0; \quad P=C=0$$

Для дальнейшего исследования процессов необходимо определить зависимость констант интенсивности трансформации потоков от  $I$  и  $P$ . Зная интенсивность изменения издержек и прибыли системы со временем, мы сможем найти не только константы интенсивности процессов, но и сделать предположение о механизме процесса.

Скорость изменения инвестиционного потока (I) будет равна:

$$v_1 = -\frac{dI}{dt} = \frac{dP_1}{dt} = k_1 I, \quad (*)$$

$$v_2 = -\frac{dP_2}{dt} = k_2 I,$$

$$v_p = \frac{dP}{dt} = \frac{dP_1}{dt} + \frac{dP_2}{dt} = k_1 I + k_2 I, \quad (**)$$

Решение уравнения (\*) нам дает

$$I = I_0 e^{-k_1 t}$$

В уравнении (\*\*) разделив переменные и умножив все члены на  $e^{k_2 t}$  после интегрирования в пределах от  $t=0$  до  $t$  и от  $P=0$  до  $P$  имеем :

$$P = \frac{k_1 I_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}),$$

Далее можно определить и динамику роста издержек системы [7].

Конечно, предположение о справедливости уравнений химической кинетики применительно к скоростям и реакциям экономической системы требуют верификации по каждой рассматриваемой системе отдельно.

Через изменение скорости потока инвестиций в рамках трёхвекторной диаграммы можно моделировать процесс управления реструктуризацией экономических систем различного уровня сложности, добавляя в эту модель и институциональные ограничения.

### Литература

1. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. – М.: Мир. – 1999
2. Макаров В. О применении метода эволюционной экономики // Вопросы экономики. - 1997. - № 3. - С. 18-26.
3. Нельсон Р., Уинтер С. Эволюционная теория экономических изменений. – М.: ЗАО Финстатинформ. – 474 с.
4. Сухарев О.С. , Сухарев С.О. Инновации в экономике и промышленности. – М.: Высшая школа, 2010.
5. Сухарев О.С. Стратегия эффективного развития фирмы. – М.: Экзамен, 2008.
6. Сухарев О.С. Теория экономической дисфункции. – М.: Машиностроение, 2001.
7. Шманёв С.В. Методология управления инвестициями в промышленности: синергетико-институциональный подход/ диссертация д.э.н. – М.: ГАСИС, 2007.
8. Хакен Г. Синергетика. / пер. с англ. - М.: Мир, 1980. - 419 с.
9. Эволюционная экономика и “мэйнстрим”. – М.: Наука. – 2000. – 224 с.
10. Эволюционная экономика и неравновесные процессы. – М.: ИЭ РАН. – 2000. – 77 с.
11. Эволюционная экономика на пороге XXI века// Доклады и



выступления участников международного симпозиума. - М.: Из-во “Япония сегодня”, 1997. - 262 с.

12. Эволюционный подход и проблемы переходной экономики. - М.: ИЭ и ЦЭМИ РАН., 1995. - 274 с.