

УДК 338.2  
ББК 65.050.12

**Kvartalnov Andrey Vyacheslavovich,**  
doctor of pedagogy, associate professor, professor,  
director of Voskresensk Institute  
for Tourism — branch of Russian International  
Academy for Tourism,  
Voskresensk,  
e-mail: Chabanuk\_oleg@mail.ru

**Chabanuk Oleg Vasilievich,**  
candidate in economics, associate professor  
of the department of economics and management,  
deputy director in charge for scientifically-methodical work,  
head of the department of tourism and hospitality,  
of Voskresensk Institute for Tourism —  
branch of Russian International Academy for Tourism,  
Voskresensk,  
e-mail: Chabanuk\_oleg@mail.ru

**Квартальнов Андрей Вячеславович,**  
д-р пед. наук, доцент, профессор РМАТ,  
директор Воскресенского  
института туризма — филиала  
Российской международной академии туризма,  
г. Воскресенск,  
e-mail: Chabanuk\_oleg@mail.ru

**Чабанюк Олег Васильевич,**  
канд. экон. наук,  
доцент кафедры экономики и управления,  
зам. директора по научно-методической работе,  
зав. кафедрой туризма и гостеприимства  
Воскресенского института туризма — филиала  
Российской международной академии туризма,  
г. Воскресенск,  
e-mail: Chabanuk\_oleg@mail.ru

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОДХОДА

### METHOD OF CONSTRUCTION OF THE MODELS OF PRODUCTION AND ECONOMIC SYSTEMS BASED ON THE EVOLUTIONARY APPROACH

*В статье рассматривается методика построения аналитической модели на основе универсальных процедур, выделения среди них наиболее существенных для данной конкретной производственно-экономической системы и изучения их в динамике. В качестве формализации фактов производственных и экономических процессов в первичном объекте исследования выступает понятие фрейма. Предлагается алгоритм, позволяющий строить рабочие модели конкретных объектов на основе выделения комбинированных фреймов. Строится рабочая метамодель эволюции экономических систем, которая носит не стохастический, а детерминированный характер и представляет собой обычную систему линейных однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. На основе метамодели предлагается методика построения конкретных объектов, позволяющая получить аналитические зависимости интенсивности комбинированных фреймов от времени.*

*In the article examines the technique of constructing an analytical model based on the universal procedures, distinguishing of the most significant for particular production and economic system among them and study their dynamics. The notion of frame serves as formalization of the facts of production and economic processes in the primary object of research. An algorithm is proposed, allowing building the working models of specific objects on the basis of allocation of the combined frames. The working metamodel of evolution of economic systems is constructed, which is not stochastic but deterministic in its nature and is a conventional system of homogeneous linear differential equations with constant coefficients, which eliminates the random variation coefficients. Method of constructing specific facilities is proposed based on a metamodel, which allows obtaining analytical dependences of the combined frames intensity on time.*

*Ключевые слова: дифференциальное уравнение, коэффициент, методика, модель, переменная, показатель, система, структура, фрейм, эволюция, эволюционный подход.*

*Keywords: differential equation, coefficient, method, model, variable, indicator, system, structure, frame, evolution, evolutionary approach.*

Начиная с середины 50-х годов XX века повышение качества управления предприятиями виделось в широком использовании экономико-математических моделей. Был предложен целый ряд таких моделей, основанных на задаче линейного программирования, транспортной задаче, методе производственных функций, динамическом программировании, теории игр и других подходах. Предполагалось, что их внедрение в практику планирования и управления как на макро-, так и на микроуровне приведет к экономии материальных затрат и выявлению факторов экономического роста. Однако в действительности использование этих моделей наталкивается на ряд трудностей. Нередко практики либо вовсе отвергают предлагаемые им математические модели, либо их использование носит чисто формальный характер и никак не отражается на характере управления экономическими объектами.

Одна из возможных причин этого состоит, на наш взгляд, в том, что разработанные к настоящему времени модели рассчитаны на некие идеальные условия и не учитывают специфики конкретных предприятий. В современных условиях России это особенно проявляется в связи с постоянным изменением экономической ситуации. В качестве пути преодоления указанных трудностей можно предложить использование не заранее заданной модели, а методики, обеспечивающей синтез модели в зависимости от особенностей конкретного объекта. В данной работе предлагается обоснование и изложение методики, которая позволяла бы

строить аналитические экономико-математические модели различных производственно-экономических систем (предприятий, их структурных подразделений и т. д.). Методика должна носить универсальный характер, а модели будут строиться уже исходя из особенностей конкретных систем. Модель должна будет показывать динамику тех экономических показателей, которые представляют интерес в данном конкретном случае.

В условиях экономической нестабильности, характерной для нашего времени, построение экономико-математической модели представляется довольно сложной задачей. Если такое построение осуществляется только на основе интуитивных представлений исследователя, то велика вероятность того, что в модель будут заложены не существенные особенности изучаемой системы, а чисто переходящие черты. При первом же изменении экономических или правовых факторов такая модель станет пригодной. Вот почему актуальной задачей представляется разработка такой методики, которая позволяла бы выделять существенные стороны изучаемого объекта, устойчивые к изменению окружающей обстановки, и на основании этого строить экономико-математическую модель.

В настоящее время уже существуют аналогичные методики, ориентированные на синтез имитационных моделей [1]. В то же время возможность построения аналитической модели на основе некоторых универсальных процедур по-прежнему остается недостаточно исследованной проблемой.

Новизна предлагаемой методики заключается в том, что она базируется на интенсивно развивающемся в последние годы направлении исследований, называемом эволюционным подходом. В рамках самого эволюционного подхода также выдвигаются новые разработки, связанные с развитием идей об имеющих место в экономической системе комбинациях первичных факторов, определяющих развитие системы.

В качестве пути решения проблемы разработки методики построения моделей предлагается применение определенных процедур, позволяющих выявлять вышеупомянутые комбинации, выделять среди них наиболее существенные для данной конкретной производственно-экономической системы и изучать их развитие в динамике. Если установить связь между описанием системы в терминах таких комбинаций и ее описанием в рамках привычных экономических показателей типа объема производимой продукции, прибыли и т. д., можно будет строить динамическую модель, которая позволит аналитически исследовать, как будут изменяться во времени те показатели, которые нас интересуют.

### 1. Общесистемные основы применяемого подхода

Исторически началом направления исследований, названного впоследствии эволюционным подходом, можно считать работы австрийского экономиста Й. Шумпетера «Теория экономического развития» (1912) [2], «Циклы деловой активности» (1939) [3], «Капитализм, социализм и демократия» (1950) [4]. Далее оно развивалось Г. Саймоном, предложившим теорию ограниченной рациональности (50-е годы) [5]. Р. Сайертом и Дж. Мачем, выдвинувшим «поведенческую» теорию фирмы (1962) [6], а также Р. Нельсоном и С. Уинтером, которые ввели сам термин «эволюционный подход» и провели на этой основе изучение деятельности промышленных корпораций (60–80-е годы) [7]. В настоящее время исследования в данном русле часто называют постшумпетерианской динамикой.

Она представлена такими именами, как Ж.П. Бенасси, Э. Дамен, Р. Дэй, К. Фримен, Г. Элиассон и многими другими [8]. Несмотря на то что эти ученые не выступают с единых позиций по ряду вопросов, тем не менее можно сказать, что данное направление предлагает ряд сложившихся методологических подходов к достижению адекватности списания исследуемых объектов реальности.

Предполагается, что теоретические заключения должны строиться на основе фактических данных о конкретных объектах, предлагаются различные процедуры обработки этих данных [9]. Но наиболее привлекательная черта эволюционного подхода заключается, на наш взгляд, в том, что указанные процедуры и сама концепция развития экономики базируются не на произвольных представлениях, а на некоторых фундаментальных закономерностях, общих для систем различного класса [10].

Рассмотрим наиболее существенные элементы данной теоретической концепции. Согласно Й. Шумпетеру, экономическое развитие представляет собой неравновесный процесс, порождаемый деятельностью предпринимателей, создающих новые комбинации имеющихся в их распоряжении вещей и сил. Изменение ситуации хозяйственного равновесия, означающее истинное развитие, определяется только внутренними причинами, а не какими-либо экзогенными по отношению к макроэкономике факторами. При этом на микроуровне возникают «новые комбинации», которые затем подвергаются длительным постепенным изменениям. Несмотря на потенциальное разнообразие возможных комбинаций, Й. Шумпетер выделил пять типов осуществления «новых комбинаций», которые стабильно присутствуют в любой экономической системе. Г. Саймон, Р. Сайерт, Дж. Мач показали, что традиционно используемые в анализе хозяйственных процессов показатели и критерии являются лишь внешним и приближенным отражением глубинных процессов, протекающих на микроуровне. Р. Нельсон и С. Уинтер отмечают большую роль в этих процессах сложившихся на предприятиях методов принятия решений, организации производства и технологических способов производства.

В связи с этим многие ученые уделяют основное внимание изучению закономерностей научно-технического прогресса (НТП) и его воздействия на экономический рост, так что шумпетерианская динамика стала иногда рассматриваться как теория НТП. В действительности, как нам представляется, ее содержание намного шире. Особенностью данной работы является то, что в качестве ключевого элемента концепции развития экономики берутся «новые комбинации» Й. Шумпетера (аналогичные или близкие понятия можно найти у Р. Нельсона и С. Уинтера [7], Э. Дамена [11]). Его важность, как и важность эволюционного подхода вообще, заключается в том, что картина развития экономики дается здесь фактически в терминах общей теории систем и самоорганизации. Данная теория в этом случае может выступать как фундамент, ориентируясь на который можно моделировать конкретные производственно-экономические объекты. В соответствии с ней развитие любой системы есть неравновесный процесс [12]. Условием для его осуществления является открытость системы, то есть возможность поступления в нее извне вещества, энергии и информации. Несмотря на это, конкретная траектория развития определяется внутренними особенностями самой системы по состоянию на заданный момент времени. При этом содержание процесса эволюции составляет возникновение и последующее количественное и качественное изменение структур, составленных из огра-

ниченного набора элементов (вспомним идеи Й. Шумпетера о «новых комбинациях»). При иной «технологии» развития, связанной с перебором всех возможных вариантов, этот процесс был бы бесконечно долгим [13]. Можно выделить несколько базовых типов упомянутых структур, которые будут устойчиво прослеживаться в системе на протяжении длительного времени. Количественные изменения структур испытывают влияние случайных факторов, приводящих к изменению реакции одной структуры на воздействие другой. Легко видеть, что перечисленные общие закономерности развития систем различной природы находят в той или иной степени отражение в концепциях эволюционного подхода. Таким образом, можно констатировать, что эволюционный подход к изучению экономических явлений ориентируется на исследование глубинных закономерностей, характерных не для какого-то ограниченного периода времени, а имеющих общесистемную природу [14].

Опираясь на такой подход, попытаемся построить модель экономического развития, отражающую только общие закономерности этого процесса и абстрагирующуюся от особенностей конкретных систем. Будем называть ее метамоделью. Она должна будет выступать в качестве теоретической основы, на которой будет базироваться методика синтеза моделей уже конкретных объектов. Эти модели будем называть рабочими моделями. Они предназначаются для использования в практической деятельности на предприятиях, в их структурных подразделениях, научных организациях и т.д. С их помощью можно было бы прогнозировать те или иные тенденции в функционировании этих объектов и оценивать возможные последствия принимаемых управленческих решений.

Учитывая все вышесказанное, будем строить метамодель на базе следующих основных положений. Под производственно-экономической системой будем понимать совокупность взаимосвязанных элементов, в качестве которых выступают определенные коллективы людей вместе с сознательно используемыми ими материально-вещественными объектами, живыми организмами, энергией, информацией, активно взаимодействующую с внешней средой и производящую материальные блага, услуги или информацию. Это может быть промышленное, строительное или сельскохозяйственное предприятие, научно-исследовательская организация и т.д. или их структурные подразделения. Экономические показатели, традиционно используемые для характеристики деятельности производственно-экономической системы, являются отражением глубинных факторов, а именно того, насколько распространена в системе та или иная «комбинация вещей и сил» и как эти комбинации влияют на экономические показатели. Эволюцией системы будем называть процесс изменения степени распространения комбинаций под влиянием внутренних причин, то есть в зависимости от текущего значения степени распространения той или иной комбинации. Наряду с эволюционными изменениями в системе происходят случайные возмущения под воздействием внешней среды. Они выражаются в том, что в определенной мере изменяется зависимость степени распространения одной комбинации от степени распространения другой. Помимо этого имеется возможность сознательно воздействовать на производственно-экономическую систему, каким-либо образом изменяя уровень распространения той или иной комбинации помимо «естественных», эволюционных факторов. Используя такие воздействия, можно управлять функционированием системы, заставляя ее развиваться в нужном направлении.

Встает вопрос о том, каким образом заложить в метамодель эти представления.

Прежде всего следует отметить, что «комбинации вещей и сил» не имеют аналогов среди традиционно используемых в экономическом анализе переменных, таких как объем выпускаемой продукции, основные фонды, численность занятых и т.д. Первичной единицей информации в модели, таким образом, должна выступать не обычная переменная, а нечто иное. Это должен быть некий объект, который может быть скомпонован с другими объектами в иные, более крупные объекты. Каждый первичный объект должен каким-то образом отражать элементарные факты производственных и экономических процессов. На наш взгляд, в качестве его формализации может выступать понятие фрейма. Оно было впервые введено М. Минским в 1975 году [15] для использования в сфере «инженерии знаний» и означало «иерархически упорядоченное представление стандартной ситуации действительности». В дальнейшем это понятие использовалось и в других областях, в частности в психологии. Фактически его можно рассматривать как средство для отражения типовых ситуаций, встречающихся в самых различных сферах человеческой деятельности, в том числе в экономике.

Фрейм состоит из логической функции — предиката вместе с его аргументами — логическими переменными. Графическое представление фрейма включает вершину, обозначающую предикат, которая связана с переменными — аргументами с помощью так называемых ролевых дуг, которые показывают тип переменной [16]. С точки зрения целей настоящей работы будем рассматривать любой фрейм в каждый момент времени состоящим из предиката и двух переменных  $q$ ,  $r$ , а также константы  $x$ , имеющих соответственно следующие типы: агент ( $a$ ) — инициатор действия, который его производит, объект ( $o$ ) — предмет действия, интенсивность ( $i$ ) — количественная размерность совершения действия в единицах времени. Множество  $Q$  включает в себя все значения переменной типа  $a$  для данного фрейма, множество  $R$  — все значения переменной типа  $o$ . Константа  $x$  должна быть неотрицательным числом. Значением фрейма назовем истинное высказывание, получающееся при замещении аргументов фрейма конкретными значениями из множества  $Q$  и  $R$ . Тогда интенсивность  $x$  фрейма отражает суммарное время, которое требуется для осуществления всех действий, отражаемых значениями фрейма. Множество значений фрейма есть его расширение.

Агрегированным будем называть такой фрейм, у которого  $Q=Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup \dots$ ,  $R=R_1 \cup R_2 \cup R_3 \cup \dots$ ,  $x=x_1+x_2+x_3+\dots$ , где  $1, 2, \dots$  — фреймы, которые подлежат агрегированию,  $Q_1, R_1, x_1, Q_2, R_2, x_2, \dots$  — соответственно множества  $Q, R$  и интенсивности  $x$  данных фреймов. В зависимости от того, какое количество фреймов должно включаться в агрегированный фрейм, можно выделять различные ступени, или уровни, агрегирования. Агрегированный фрейм сам, в свою очередь, может входить в другой фрейм более высокого уровня агрегирования.

Следующий шаг — рассмотрения фрейма в динамике. Элементарная ситуация, которую отображает фрейм, с течением времени может получать более широкое или менее широкое распространение в изучаемой системе. Это будет характеризоваться соответственно большей или меньшей величиной интенсивности  $x$ . Поэтому в этом случае целесообразным будет рассматривать уже не константу  $x$ , а функцию интенсивности фрейма от времени  $x(t)$ . Это уже конкретная количественная характеристика. Опираясь

на изложенные выше положения эволюционного подхода, теперь можно строить определенные математические модели, которые позволяли бы делать заключения о том, как будут изменяться интенсивности фреймов во времени. Такое описание давало бы не только количественную, но и качественную картину исследуемого объекта.

Однако практически нас интересует вопрос о том, как будут изменяться те показатели, которые традиционно используются в экономическом анализе (объем выпускаемой продукции, прибыль и т. д.). Следовательно, необходимо с помощью формул установить соответствие между интересующими нас показателями и интенсивностью фреймов. Тогда с помощью математической модели можно будет изучать динамику развития системы уже в привычных экономических терминах, а не только в понятиях эволюционного подхода.

Модель должна будет отразить изменение интенсивности фреймов во времени. Для ее построения необходимо знать, от чего зависит интенсивность каждого фрейма. Как уже отмечалось, эволюция производственно-экономической системы предполагает изменение степени распространения той или иной комбинации факторов ее развития под влиянием внутренних причин, то есть в зависимости от существующих значений других комбинаций факторов. Поэтому, желая строить модель на основе такого подхода, мы должны в качестве первичной информации взять зависимости интенсивности одного фрейма от другого. В результате получится структура взаимосвязей фреймов по интенсивности.

Среди всех связей в этой структуре будем выделять обычные связи, когда значение интенсивности одного фрейма зависит только от интенсивности другого в тот же момент времени, и кумулятивные связи, когда интенсивность одного фрейма зависит от накопленной суммы значений интенсивности другого фрейма за определенный период времени. Переменные, значения которых определяются накопленными во времени значениями других переменных, в механике, а иногда и в математической экономике и некоторых языках имитационного моделирования называют переменными состояниями. Мы также будем использовать этот термин. Отражением изменений значений таких переменных во времени является система обыкновенных дифференциальных уравнений. В нашем случае она должна показывать, как зависят производные интенсивностей фреймов, которые являются переменными состояниями, от значений других переменных состояний при отсутствии внешних по отношению к системе воздействий. Значения же интенсивностей остальных фреймов в какой-либо момент времени можно будет определить на основе значений переменных состояний в тот же момент времени.

Но, как указывалось выше, наряду с общей траекторией эволюции системы имеют место постоянные случайные отклонения в характере взаимозависимости друг от друга комбинаций факторов ее развития. Поэтому в рассматриваемые уравнения следует включить некоторые случайные функции. Для построения модели необходимо брать фреймы примерно одинакового уровня агрегирования. Также следует следить за тем, чтобы они отражали именно стандартные, повторяющиеся ситуации действительности. В этом случае параметры функций, характеризующих влияния одного фрейма на другой, можно будет приближенно рассматривать как случайные функции от времени с нормальным для любого момента времени распределением вероятностей с одинаковой для всех фреймов дисперсией.

Наконец, следует отразить в модели еще одну особенность процесса эволюции системы, а именно то, что случайные изменения интенсивностей отдельных фреймов могут быть коррелированы друг с другом. Можно сделать по этому поводу следующее предположение. Вероятность совместного случайного изменения фреймов тем выше, чем больше число их общих фреймов-потомков. Фреймами-потомками будем называть все фреймы, значения интенсивности которых зависят от значения какого-либо фрейма-предка в данный момент времени. Вообще говоря, у каждого фрейма может быть и более одного фрейма-предка. В этом случае он выступает в качестве потомка как одного, так и другого предка. Такие фреймы-потомки будем называть общими потомками двух или более фреймов-предков. Если у двух фреймов нет общих потомков, то это может означать, что они отражают разные стороны изучаемого объекта и станут реагировать на какие-либо возмущающие воздействия каждый по-своему. Эта реакция будет проявляться в частичном изменении зависимости интенсивности одного фрейма от интенсивности другого. Если же большая часть потомков одного фрейма является в то же время и потомками другого фрейма, то это свидетельствует о том, что они оба являются отражением взаимосвязанных аспектов функционирования объекта. Тогда логично предположить, что их реакция на случайные возмущения среды также будет совместной. Математически это можно сформулировать как пропорциональность ковариации параметров, с которыми интенсивности двух фреймов влияют на какой-либо третий фрейм, числу общих потомков этих двух фреймов.

Таким образом, метамодель должна не только отразить общую траекторию эволюции производственно-экономической системы, но и учесть возможность случайных отклонений от этой траектории. Имеется возможность, опираясь на рассмотренные положения, математически выразить закономерности этого процесса.

## 2. Метамодель эволюции экономических систем

Как уже было сказано, метамодель должна отразить динамику изменения интенсивностей фреймов — переменных состояния. Значения интенсивностей остальных фреймов могут быть получены исходя из значений переменных состояния. Поскольку экономические показатели в нашей модели выражаются через интенсивности фреймов, то их в конечном итоге можно выразить через переменные состояния. Вектор экономических показателей будем обозначать через  $Y$ , а вектор переменных состояния — через  $X$ . Это можно представить как:

$$Y = F(X), \quad (1)$$

где  $F$  — вектор-функция, задающая соответствие между переменными состояниями  $X$  и экономическими показателями  $Y$ , характеризующими данную производственно-экономическую систему.

В качестве дополнительного допущения предположим, что имеет место линейная зависимость интенсивностей фреймов друг от друга. Иными словами, будем считать, что если бы не было случайных возмущающих воздействий, то интенсивность каждого фрейма определялась бы суммой интенсивностей других фреймов, взятых с некоторыми коэффициентами (для случая, если это не переменная состояния). Аналогично для каждой переменной состояния можно сказать, что ее производная по времени линейно зависит от значений интенсивностей фреймов. Как уже отмечалось, если интенсивность фрейма не является переменной состояния, ее можно выразить через переменную состояния.

Следовательно, производная по времени каждой переменной состояния будет равна сумме других переменных состояний, взятых с определенными коэффициентами. Конечно, требование линейности этих зависимостей является огрублением реального положения вещей. Однако можно сказать, что если уровень агрегирования фреймов не слишком велик, то зависимости можно приближенно считать линейными.

Из вышесказанного ясно, что без учета случайных возмущающих воздействий модель изменения переменных состояния во времени представляла бы собой систему обыкновенных линейных однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Эти коэффициенты отражают степень влияния переменных состояния друг на друга. Напомним, что переменные состояния — это интенсивности таких фреймов, значения интенсивностей которых зависят от накопленной за определенный период времени интенсивности других фреймов.

Однако, как было отмечено выше, реальному положению вещей скорее отвечает несколько иная картина, а именно наличие постоянных случайных отклонений в характере взаимного влияния фреймов. В соответствии с изложенными там положениями будем считать, что коэффициенты в дифференциальных уравнениях представляют собой сумму некоторого числа  $b$  и случайной функции  $g(t)$ , являющейся однородным гауссовским процессом с независимыми приращениями, для которого математическое ожидание  $M g(t)$  равно нулю, а дисперсия  $D g(t)$  равна определенному числу  $s$ , одинаковому для всех коэффициентов всех уравнений и зависящему лишь от того, насколько агрегированные фреймы используются для построения модели. Чем в большей степени агрегирован фрейм, тем меньше будет дисперсия. Будем обозначать через  $B$  квадратную матрицу коэффициентов  $b$ , а через  $G$  — квадратную матрицу коэффициентов  $g(t)$ .

Также следует учесть упоминавшуюся уже ковариацию случайных отклонений параметров зависимости друг от друга интенсивностей фреймов. Пусть  $C(n, n)$  — квадратная матрица, каждый элемент которой, стоящий на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца, показывает число общих потомков фреймов  $i$  и  $j$ . Разумеется, речь идет о фреймах, интенсивности которых являются переменными состояниями. Тогда можно записать:

$$\text{cov}(G(i, j), G(i, k)) = Q * C(j, k), \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Иными словами, ковариация коэффициентов, с которыми интенсивности двух фреймов влияют на какой-либо третий фрейм, пропорциональна числу общих потомков этих двух фреймов, где  $Q$  — коэффициент пропорциональности.

Обобщая все вышесказанное, составим метамодель эволюции производственно-экономических систем:

$$\begin{aligned} Y &= F(X), \\ dX/dt &= (B + G(t)) X, \\ M G(i, j) &= 0, \\ D G(i, j) &= s, \\ \text{cov}(G(i, j), G(i, k)) &= Q * C(j, k) \\ I, j, k &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $Y$  — вектор экономических показателей,  $X$  — вектор переменных состояния размерности  $n$ ,  $F$  — вектор-функция, описывающая зависимость экономических показателей от переменных состояния,  $t$  — время,  $dX/dt$  — вектор производных переменных состояния по времени,  $D(n, n)$  — матрица коэффициентов зависимости друг

от друга переменных состояния в дифференциальном уравнении,  $G(n, n)$  — матрица случайных коэффициентов, зависящих от времени,  $s$  — параметр,  $Q$  — коэффициент пропорциональности,  $C$  — матрица количеств общих потомков двух фреймов,  $i, j, k$  — индексы элементов матриц.

Данная модель будет использоваться нами только как методологическая основа, опираясь на которую можно будет строить рабочие модели конкретных объектов. Реально для построения такой рабочей модели исследователь может располагать только информацией о коэффициентах взаимосвязи  $B$  между интенсивностями фреймов, указанных на текущий момент времени. Фактически спустя какой-то промежуток времени эти коэффициенты могут измениться. Практически мы не знаем, как именно они будут меняться. Ранее на основе эволюционной методологии мы сделали предположение, что эти изменения будут подчиняться нормальному закону. Но точно оценить дисперсию отклонений и среднее значение коэффициентов взаимозависимости интенсивностей фреймов также вряд ли осуществимо. Единственное, что можно было бы сделать, — это с помощью экспертных оценок установить соответствие между качественными особенностями фреймов, характеризующими степень их агрегированности, и величиной среднеквадратического отклонения коэффициентов.

Поэтому в качестве основы для построения рабочей модели нами предлагается следующий подход. Рабочая модель должна носить не стохастический, а детерминированный характер и представлять собой обычную систему линейных однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Таким образом, мы отвлекаемся от случайных отклонений коэффициентов. Конечно, это огрубление действительной ситуации, но вспомним, что в большинстве экономико-математических моделей возможное наличие колебаний такого рода вообще не принимается во внимание. Мы же не просто отбрасываем флуктуации как не заслуживающие рассмотрения, а ставим задачу: построить рабочую модель таким образом, чтобы их влияние сказывалось в наименьшей степени.

Возможный путь решения этой задачи заключается в укрупнении фреймов. Действительно, в соответствии с положениями теории вероятностей при увеличении количества фреймов, объединяемых в укрупненный фрейм, отношение среднеквадратического отклонения к среднему значению (коэффициент вариации) будет уменьшаться. Иными словами, относительно меньше будет сказываться влияние случайных факторов.

Простейший способ укрупнения фреймов заключается в уже упоминавшейся операции агрегирования. Однако она, вообще говоря, приводит к определенной потере информации. Слишком агрегированные фреймы не могут отразить всех качественных особенностей исследуемого объекта, поэтому в качестве исходной информации для построения рабочей модели следует брать фреймы, с одной стороны, достаточно крупные, чтобы отражать типовые, а не единичные ситуации, а с другой — не настолько агрегированные, чтобы была потеряна полезная информация о свойствах объекта. В настоящее время уже имеются исследования, посвященные методам выделения таких ситуаций (в настоящей терминологии — фреймов). Фреймы, используемые в качестве исходного материала для синтеза рабочей модели, будем называть первичными фреймами (ПФ).

Однако наряду с агрегированием возможен и иной способ укрупнения фреймов. Допустим, что на основе информации о взаимосвязях интенсивностей фреймов составлена

детерминированная система дифференциальных уравнений относительно переменных состояния:

$$dX/dt = A X \quad (4)$$

Данную систему можно упростить, введя вектор новых переменных  $z$  размерности  $m$ , такой, что для любого  $1 < m$ :

$$Z(1) = R(1) * X(j) + \dots + R(j+k) * X(j+k), R(j), \dots, R(j+k) > 0, \quad (5)$$

если во всех уравнениях системы:

$$M(i, j) * X(j) + \dots + A(i, j+k) * X(j+k) = H(i, 1) * Z(1), \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

где  $n$  — число первичных фреймов;

$H(m, m)$  — квадратная матрица, элементы которой — действительные числа.

Учитывая, что фактически с течением времени значения коэффициентов  $A$  могут отклоняться в ту или иную сторону, равенство (6) можно заменить приближенным равенством. При введении переменных  $Z$  нужно следить за тем, чтобы величина погрешности не превышала некоторого заданного числа. В результате рабочую модель можно будет представить в виде:

$$dZ/dt = H Z \quad (7)$$

Фрейм, составленный из других фреймов, интенсивность которого  $Z(1)$  равна сумме интенсивностей составляющих его фреймов — переменных состояния, взятых с некоторыми положительными коэффициентами, будем называть комбинированным фреймом (КФ). Операцию построения комбинированных фреймов будем называть комбинированием. В отличие от агрегирования, при котором теряется информация о взаимосвязях фреймов, при комбинировании такой потери информации не происходит. В то же время у комбинированного фрейма отношение среднеквадратического отклонения значения его интенсивности к ее среднему значению всегда будет меньше, чем у первичного фрейма. Таким образом, комбинирование фреймов позволит выявлять в исследуемой системе устойчивые структуры, определяющие характер наблюдаемой динамики экономических показателей.

При этом сами эти структуры могут включать типовые ситуации, на первый взгляд не связанные друг с другом, но тем не менее в совокупности образующие незримые конгломераты. Достоинство предлагаемой методики, следовательно, состоит в том, что она позволяет выявлять скрытые особенности и связи изучаемой системы, о которых, вообще говоря, до построения модели можно было бы и не подозревать, но которые тем не менее определяют существенные особенности ее функционирования.

Далее будет описана методика, или, другими словами, алгоритм, позволяющий строить рабочие модели конкретных объектов на основе выделения комбинированных фреймов. После того как собрана информация о коэффициентах взаимосвязи между первичными фреймами, на ее основе строится система дифференциальных уравнений относительно переменных состояния. Затем (блоки 1–5 предлагаемого алгоритма) в каждом уравнении коэффициенты при каждой переменной делятся на первый ненулевой коэффициент данного уравнения. Полученные числа сравниваются у разных уравнений. Если оказывается, что их значения для двух переменных близки во всех уравнениях, то переменные, при которых стоят соответствующие коэффициенты, можно будет включить в формулу интенсивности комбинированного фрейма, если эти коэффициенты или оба положитель-

ные, или оба отрицательные. Дополнительным условием для комбинирования фреймов является достаточно большое число потомков двух первичных фреймов, которые мы хотим комбинировать. Это связано с тем, что, как уже отмечалось, случайные отклонения интенсивностей таких фреймов коррелированы, причем ковариация пропорциональна числу их общих потомков. Если это число мало, то потенциальный случайный разброс между значениями коэффициентов у двух первичных фреймов может быть слишком большим. Если же, наоборот, число общих потомков близко к сумме всех потомков двух фреймов, то велика вероятность того, что соотношение коэффициентов воздействия двух этих фреймов на третий фрейм останется стабильным. Таким образом, два данных фрейма могут входить в КФ. После того как будет решен вопрос о включении или невключении в тот или иной КФ каждого из первичных фреймов, строится система дифференциальных уравнений относительно комбинированных фреймов.

Перейдем теперь к более подробному рассмотрению блоков алгоритма.

### 3. Методика построения моделей конкретных объектов на основе метамоделей

Рассмотрим основные этапы синтеза модели конкретной производственно-экономической системы на основе изложенных ранее принципов, которое нашли отражение в мета-модели.

Для начала необходимо выявить список фреймов данной производственно-экономической системы примерно одного уровня агрегирования, используя определенную методику обследования изучаемого объекта. Далее следует построить сеть взаимосвязей фреймов по интенсивности с указанием коэффициента связи и типа связи: обычная (1) или кумулятивная (2). Эти данные нужно ввести в ЭВМ.

Следующая часть алгоритма автоматизирована. В качестве языка реализации был выбран Clipper, так как, во-первых, это ортодоксальный язык, строго следующий конструкциям структурного программирования, во-вторых, он включает средства по управлению реляционной базой данных, которая удобна для представления во внешней памяти ЭВМ сети фреймов, а в-третьих, этот язык позволяет легко выделять оперативную память под массивы заранее неизвестной размерности во время работы программы.

Допустим, что мы ввели в файл на магнитном носителе сведения о сети фреймов. Каждая запись файла включает номер фрейма, который влияет на другой фрейм, номер фрейма, на который он влияет, коэффициент, с которым он влияет, и тип связи: 1 или 2. Автоматизированная часть алгоритма на основании сети фреймов выявляет комбинированные фреймы и строит дифференциальные уравнения, отражающие динамику изменения интенсивности как первичных, так и комбинированных фреймов. Рассмотрим блоки этого алгоритма.

Блок 1 осуществляет ввод информации о сети фреймов из файла на магнитном носителе. На основе этой информации в оперативной памяти ЭВМ формируются два двумерных массива  $A$  и  $E$ . Первый индекс каждого массива показывает номер первичного фрейма (ПФ), который воздействует, а второй индекс каждого массива — номер ПФ, на который происходит воздействие. Каждый элемент массива  $A$  показывает коэффициент связи, каждый элемент массива  $B$  — тип связи.

Блок 2. Формирует массив  $D$  путем исключения из массива  $A$  связей типа 2. Одновременно выделяются фреймы, интенсивности которых являются переменными состоя-

ния, — это такие фреймы, на которые воздействует связь типа 2. Сведения о них записываются в одномерный массив  $NACH$ . Поскольку после удаления связей типа 2 такие фреймы не должны иметь фреймов, воздействующих на них, то далее будем условно называть такие фреймы началами, а все остальные фреймы — вершинами.

Блок 3 проверяет, нет ли у начал входящих связей в матрице  $D$ . Их в принципе не должно быть, так как в матрице  $A$  не может быть входящих связей разных типов. В случае обнаружения таковых выдается сообщение об ошибке и происходит аварийное завершение программы.

Блок 4 выражает интенсивность каждого фрейма через интенсивность начал. Эти сведения записываются в двумерный массив  $R$ . Первый индекс массива означает номер начала в общем списке фреймов, а второй индекс — номер фрейма, на который воздействует данное начало. Каждый элемент массива содержит коэффициент, с которым начало (первый индекс) воздействует на фрейм (второй индекс). Одновременно с расчетом массива  $R$  производится проверка отсутствия циклов в матрице  $D$  (в матрице  $A$  не должно быть циклов, не включающих в себя связи типа 2). При обнаружении цикла программа прекращает работу и появляется сообщение об ошибке.

Блок 5 производит модификацию массива  $R$ : в него добавляются коэффициенты, с которыми начала влияют на другие начала, точнее, на их производные (через связь типа 2).

Блок 6 выявляет группы начал, каждая из которых в дальнейшем составит комбинированный фрейм (КФ). В комбинированный фрейм будут включаться не все начала, а только так называемые важные начала, то есть такие, которые через цикл воздействуют на самих себя. Это делается для возможного укрупнения комбинированных фреймов и упрощения

системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику интенсивностей комбинированных фреймов. Уравнения для остальных начал легко получить исходя из системы дифференциальных уравнений для первичных фреймов путем интегрирования.

Блок 7 строит дифференциальные уравнения взаимосвязи между комбинированными фреймами (двумерный массив  $DKF$ ). Одновременно производные интенсивностей важных начал выражаются через комбинированные фреймы (массив  $VKF$ ).

Блок 8 осуществляет вывод полученных зависимостей и дифференциальных уравнений на магнитный носитель. Каждый файл, предназначенный для хранения такой информации, имеет следующую структуру записи: фрейм, который воздействует; фрейм, на который производится воздействие; коэффициент связи. Программа выдает: входжение начал в КФ; выражение производных интенсивностей начал через КФ; зависимость производных КФ от КФ (система дифференциальных уравнений); зависимость производных начал от начал (система дифференциальных уравнений) и первичных фреймов от начал.

Используя данную информацию, можно получить аналитические зависимости интенсивности комбинированных фреймов от времени.

Для того чтобы можно было моделировать значения традиционно используемых экономических показателей, таких как выпускаемая продукция, основные фонды и т. д., следует выразить эти показатели через интенсивности первичных фреймов. На основе этого можно получить зависимости показателей от комбинированных фреймов, что даст возможность аналитически исследовать динамику этих показателей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чабанюк О. В., Квартальнов А. В. Регрессионная модель планирования прогнозных показателей развития малых предприятий в России // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2014. № 1 (26). С. 118—130.
2. Шумпетер Й. Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982. 401 с.
3. Schumpeter J. *Business Cycles*. N. Y., McGraw-Hill, 1939. 271 p.
4. Schumpeter J. *Capitalism, Socialism, and Democracy*. N. Y., Harper, 1950. 455 p.
5. Simon H. *Models of Man*. N. Y., 1957. 7 p.
6. Cyert R. M., March J. G. *A Behavioral Theory of the Firm*. N. Y., Prentice-Hall, 1963. 127 p.
7. Nelson R., Winter S. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, 1982. P. 211—221.
8. *Evolutionary economics: Application of Schumpeter's ideas*. Edited by Horst Hanusch. Cambridge, New York and Melbourne: Cambridge University Press, 1988. 397 p.
9. Winter S. G. Schumpeterian Competition in Alternative Technological Regimes // *Journal of economic behavior and organization*. 1984. Vol. 5. № 314. P. 287—320.
10. Heiner R. A. The Origin of Predictable Dynamic Behavior // *Journal of economic behavior and organization*. 1989. Vol. 12. № 2. P. 3—22.
11. Dahmen E. Schumpeterian Dynamics: Some Methodological Notes // *Journal of economic behavior and organization*. 1984. Vol. 5. № 1. P. 122—131.
12. Климонтович Ю. Л. Уменьшение энтропий в процессе самоорганизации: S-теорема (на примере перехода через порог генерации) // *Письма в Журнал технической физики*. 1983. Т. 9. Вып. 23. 274 с.
13. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. 214 с.
14. Freeman C. *Innovation, Changes of Techno-Economic Paradigm and Biological Analogies in Economics* // *Revue Economique*. 1991. Vol. 42. № 2. P. 211—232.
15. Минский М. Психология машинного зрения. М.: Мир, 1978. 170 с.
16. Кокорева Л. В., Малашинин И. И. Проектирование банков данных. М.: Наука, 1984. 256 с.

## REFERENCES

1. Chabanuk O. V., Kvartalnov A. V. Regression model of planning of forecast indicators of the small enterprises development in Russia // *Business, Education, Law, Bulletin of the Volgograd Business Institute*. 2014. № 1 (26). P. 118—130.
2. Schumpeter J. *Theory of Economic Development*. M.: Progress, 1982. 401 p.

3. Schumpeter J. Business Cycles. N. Y., McGraw-Hill, 1939. 271 p.
4. Schumpeter J. Capitalism. Socialism. and Democracy. N. Y., Harper, 1950. 455 p.
5. Simon H. Models of Man. N. Y., 1957. 7 p.
6. Cyert R. M., Much J. G. A Behavioral Theory of the Firm. N. Y., Prentice-Hill, 1963. 127 p.
7. Nelson R., Winter S. An Evolutionary Theory of Economic Change. Chambridge, 1982. P. 211—221.
8. Evolutionary economics: Application of Schumpeter's ideas. Edited by Horst Hanusch. Cambridge, New York and Melbourne: Cambridge University Press, 1988. 397 p.
9. Winter S. G. Schumpeterian Competition in Alternative Technological Regimes // Journal of economic behavior and organization. 1984. Vol. S. № 314. P. 287—320.
10. Heiner R. A. The Origin of Predictable Dynamic Behavior // Journal of economic behavior and organization. 1989. Vol. 12. № 2. P. 3—22.
11. Dahmen E. Schumpeterian Dynamics: Some Methodological Notes // Journal of economic behavior and organization. 1984. Vol. 5. № 1. P. 122—131.
12. Klimontovich Yu. L. Decrease in entropy in the process of self-organization: S-theorem (on the example of crossing the lasing threshold) // Letters to Journal of Technical Physics. 1983. Vol. 9. Issue 23. 274 p.
13. Eigen M. Self-organization of matter and the evolution of biological macromolecules. M.: World, 1973. 214 p.
14. Freeman C. Innovation. Changes of Techno-Economic Paradigm and Biological Analogies in Economics // Revue Economicue. 1991. Vol. 42. № 2. P. 211—232.
15. Minsky M. Psychology of computer vision. M.: World, 1978. 170 p.
16. Kokoreva L. V., Malashinin I. I. Designing data banks. M.: Science, 1984. 256 p.



**Приглашаем на сайт научного журнала  
«Бизнес. Образование. Право.  
Вестник Волгоградского института бизнеса»  
<http://vestnik.volbi.ru>**

Здесь вы можете получить следующую полезную информацию:

— паспорта научных специальностей, разработанные экспертными советами Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59;

— перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук;

— график предоставления авторских материалов в научный рецензируемый журнал «Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса»;

— условия публикации статей;

— требования к публикации статей;

— положение о рецензировании;

— адреса ведущих библиотек России и стран СНГ, а также электронных библиотек, с которыми сотрудничает научный рецензируемый журнал «Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса»;

— условия подписки на научный рецензируемый журнал «Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса»;

— архив номеров научного рецензируемого журнала «Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса»;

— свежий номер научного рецензируемого журнала «Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса»;

— информацию о конференциях, проводимых научным рецензируемым журналом «Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса»;

— условия размещения рекламы в научном рецензируемом журнале «Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса»;

— дополнительную информацию об авторах, опубликовавших свои статьи в научном журнале «Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса»;

— в информационном блоке размещена полезная информация для аспирантов, докторантов и ученых.