

УДК 338.2

UDC 338.2

05.00.00 Технические науки (1209)

Technical sciences

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ  
РЫНОЧНОЙ СИСТЕМЫ****MODELING THE DYNAMICS OF THE  
MARKET SYSTEM**

Гуреев Кирилл Александрович

Gureev Kirill Aleksandrovich

к.э.н., доцент

Cand.Econ.Sci., assistant professor

E-mail: gyreev.prof@gmail.com

E-mail: gyreev.prof@gmail.com

ID Elibrary (SPIN) 5718-4581

ID Elibrary (SPIN) 5718-4581

*Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет (ФГБОУ ВПО  
ПНИПУ)), Пермь, Россия  
НОУ ВО Московский технологический институт  
«МТИ» (ВТУ) (Московская бизнес школа), Москва,  
Россия*

*Perm National Research Polytechnic University  
(PNRPU), Perm, Russia  
Moscow Technological Institute, Moscow, Russia*

Гуреева Елена Григорьевна

Gureeva Elena Grigorievna

к.э.н., доцент

Cand.Econ.Sci., assistant professor

E-mail: egliman@mail.ru

E-mail: egliman@mail.ru

ID Elibrary (SPIN) 4464-8770

ID Elibrary (SPIN) 4464-8770

*Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет (ФГБОУ ВПО  
ПНИПУ)), Пермь, Россия*

*Perm National Research Polytechnic University  
(PNRPU), Perm, Russia*

В современных условиях динамичного развития рыночной системы экономика, испытывающая многоочленные подъёмы и спады, требует внешнего воздействия, регулирования, управления. Реализовать эффективную систему управления экономикой без понимания последствия не представляется возможным. Регулирующая структура в лице государства нуждается в эффективной системе поддержки принятия решений, позволяющей оценить последствия принимаемых решений до их непосредственной реализации. Использование современных методов комплексного оценивания для моделирования рыночной системы на основе деревьев критериев и матриц свёртки позволяет формировать статическую модель рынка в виде функций чувствительности, интерпретируемых как кривые спроса и предложения. Однако, до настоящего времени не обсуждались вопросы построения динамической рыночной системы на основе данных механизмов. В статье обсуждаются вопросы возможности моделирования динамики рыночной системы, выстроенной на основе механизмов комплексного оценивания. Актуальность выбранного метода определяется возможностью предварительного формирования возможных исходов события в виде графа с определением в дальнейшем вероятности перехода к каждому из состояний, на основе комплексной оценки индивида «выгодности» такого перехода. Дополнительным преимуществом такого подхода является тот факт, что при формировании рыночной системы из некоторого контингента участников с разными моделями поведения для

In the modern conditions of dynamic development of the market system, the economy, feeling polynomial enthusiasm and recessions, demands external influence, regulation, management. It isn't possible to realize an effective control system of economy without understanding of a consequence. The regulating structure represented by the state needs an effective system of the support of decision-making allowing to estimate the consequences of the made decisions before their direct realization. Use of modern methods of complex estimation for modeling of market system on the basis of trees of criteria and matrixes of convolution allows forming a static market model in the form of the functions of sensitivity interpreted as curves of supply and demand. However, the questions of creation of dynamic market system on the basis of these mechanisms weren't discussed so far. In this article the questions of possibility of modeling of dynamics of the market system built on the basis of mechanisms of complex estimation are discussed. Relevance of the chosen method depends on the possibility of preliminary formation of possible outcomes of an event in the form of the count on definition further of probability of transition to each of states on the basis of a complex assessment of the individual of "advantage" of such transition. An additional benefit of such approach is that fact that when forming market system from some contingent of participants with different behavior models for each of them there is an opportunity to create the scenario, and when receiving at a stage of modeling of result to reconsider the new created structure of structure of society

каждого из них имеется возможность сформировать свой сценарий, а при получении на этапе моделирования результата пересмотреть новый сформированный состав структуры социума

Ключевые слова: РЫНОК, РЫНОЧНАЯ СИСТЕМА, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ЦЕПИ МАРКОВА, ВЕРОЯТНОСТЬ ПЕРЕХОДА, СМЕНА СОСТОЯНИЯ

Keywords: MARKET, MARKET SYSTEM, BEHAVIOR MODELING, DYNAMIC SYSTEM, SOCIO-ECONOMIC SYSTEM, MARKOV CHAIN, TRANSITION PROBABILITY, CHANGE OF STATE

## Моделирование динамики рыночной системы

Построение модели рыночной системы предполагает не только оценку текущего состояния рынка, но и наличие возможности прогнозирования поведения участников на достаточный обозримый временной промежуток. Поведение индивида прогнозируется на основе возможных вариантов принимаемых решений с учетом склонности (вероятности) принятия одного из них. Определив подход к оценке вероятности можно без труда с учетом сложности системы распознать наиболее ожидаемую рыночную систему с учетом изменений.

Целью данного представляемого небольшого исследования можно определить разработку механизмов принятия решений в задачах управления рыночной системой на основе динамической модели предпочтений ЛПР. Цель очевидно раскладывается на следующие задачи [1]:

- разработка модели прогнозирования ожидаемых состояний рыночной системы;
- разработка модели поведения участников или социальных групп в рамках рассматриваемой рыночной системы;
- разработка основы прогнозирования поведения участников в виде их имитации.

Отдельно требуется выделить новизну предлагаемого к использованию подхода в связи с отсутствием аналогичных решений в

вопросах прогнозирования поведения участников рыночной системы, сочетающихся с используемыми для моделирования технологиями комплексного оценивания.

Началом данных исследований является определение возможных состояний субъекта в обозримом будущем [1]. Переход в любое из состояний определяется самим субъектом на основе оценки им всех преимуществ и недостатков своего нового рыночного «статуса». Требуется каждое состояние описывать критериями, отражающими комплексную оценку субъектом «качества» своего нового положения.

Среди предлагаемых подобного рода методик наиболее близкой, способной отразить оценку вероятностей перехода из одного состояния в другое, является «Цепь Маркова», используемая в качестве математической модели при изучении поведения определенных стохастических систем, т.е. систем с неопределенным вариантом исхода событий.

Пусть  $\{E_1, E_2, \dots, E_y\}$  – множество возможных состояний некоторой рыночной системы. В любой момент времени система может находиться только в одном состоянии. С течением времени система переходит последовательно из одного состояния в другое. Тогда, каждый такой переход именуется «шагом процесса».

Для описания эволюции данной системы введем последовательность дискретных случайных величин:  $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_n, \dots$ . Индекс  $n$  играет роль времени, т.е. система рассматривается в момент времени  $n$ , а следующим шагом процесса принимается состояние системы в момент  $n+1$ . Если в момент времени  $n$  система находится в состоянии  $E_j$ , то считается, что  $\xi_n = j$ .

Таким образом, принимается значение случайной величины в качестве номера состояния системы. Последовательность  $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_n, \dots$  образует цепь Маркова, если для любых  $n$  и любых  $k_0, k_1, \dots, k_n, \dots$  выполняется условие:

$$P(\xi_n = j / \xi_0 = k_0, \dots, \xi_{n-1} = i) = P(\xi_n = j / \xi_{n-1} = i) \quad (1)$$

Для цепей Маркова вероятность в момент времени  $n$  попасть в конкретное состояние  $E_j$  при известности всей предыдущей исторической динамики изучаемого процесса, зависит исключительно от того, в каком состоянии находился процесс только в предыдущий момент времени  $n-1$ , что соответствует известной формулировке: “При фиксированном «настоящем» обозримое «будущее» не зависит от «прошлого»”. Названные «Марковским» свойством независимости отвергают существующие модели оценки и прогнозирования будущих событий техническими и фундаментальными подходами, которые в свою очередь оценивают масштабный предыдущий опыт и на основе, в том числе, моделей корреляции, композиции, динамических средних и т.д. определяют перспективу. Недостатками данных методов могут быть определены следующие их качества:

- от анализируемого исторического диапазона сильно зависит прогнозируемый результат;
- наличие множества индикаторов, рассчитываемых различными методиками, делает прогноз еще более сомнительным;
- учитываемый исторический опыт включает в себя неповторимый оригинальный комплекс событий, который в прогнозе не будет получен.

Вероятности  $P_{ij}^{(n)} = P(\xi_n = j / \xi_{n-1} = i), i, j = 1, 2, \dots, r$  называются

вероятностями перехода из состояния  $E_i$  в состояние  $E_j$  за один шаг.

Цепь Маркова признается однородной если вероятность перехода в состояние  $p_{ij}^{(n)}$  не зависит от момента времени  $n$ , т.е. от порядкового номера шага, но зависит от того текущего состояния в котором находится объект и из которого осуществляется переход. Для однородных цепей Маркова вместо  $p_{ij}^{(n)}$  указывается  $p_{ij}$ .

Наиболее приемлемым способом расположения вероятностей перехода является их отражение в виде квадратичной матрицы:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1i} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{j1} & p_{j2} & \dots & p_{ji} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Матрица  $P$  называется матрицей вероятностей перехода однородной цепи Маркова за один шаг и обладает следующими характеристиками:

- a.  $p_{ij} \geq 0$ ;
- b. для всех  $i$ :  $\sum_{j=1}^r p_{ij} = 1$ .

Таким образом, данные матрицы при выполнении указанных условий могут определяться как вероятностные с известным числом возможных следствий.

Вектор  $\vec{a} = (a_1, a_2, \dots, a_r)$ , где  $a_j = P(\xi_0 = i), i = 1, 2, \dots, r$  называется вектором начальных вероятностей. Одним из свойств однородных цепей Маркова является то, что дальнейшее развитие полностью определяется вектором начальных вероятностей и вероятностей перехода.

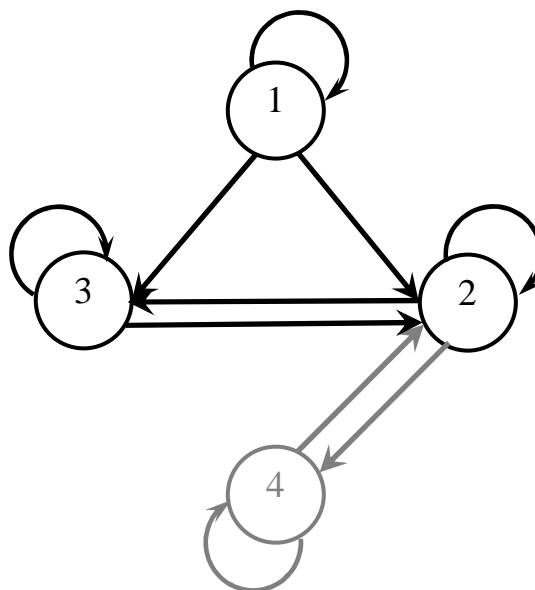
В конкретных известных случаях, где определены возможные варианты перехода, для описания эволюции цепи Маркова могут использоваться вместо явных выписанных матриц  $P$  графы, вершинами которых являются возможные состояния цепи, а направление указываются в виде переходов, идущих из состояния  $E_i$  в состояние  $E_j$ . При этом  $p_j$

определяют возможную вероятность перехода между состояниями. Связь не указывается в том случае, когда  $p_j = 0$ , т.е. субъект не может оказаться в данном состоянии. При этом существуют ситуации, когда субъект может переходить только в одном направлении от  $E_i$  в  $E_j$  без возможности возвращения.

Можно продемонстрировать, что матрица вероятностей перехода цепи Маркова за  $n$  шагов равняется  $n$ -ой степени матрицы  $P$  вероятностей перехода за один шаг. Для однородной цепи Маркова при любом  $m$  выполняется равенство:

$$P(\xi_{n+m} = j / \xi_m = i) = P(\xi_n = j / \xi_0 = i) \quad (3)$$

Но последняя вероятность есть вероятность перехода из состояния  $E_i$  в состояние  $E_j$  за  $n$  шагов.



*Рисунок 1. Пример составления графа переходов для рыночного субъекта.*

При построении графов для субъекта, находящегося в начальном состоянии 1, определяются возможные переходы в состояние 2 и 3. Перейдя в одно из двух состояний субъект не может вернуться в состояние 1, т.к. принимается вероятность перехода равная нулю. В теории существует двойкая интерпретация, где, с одной стороны, отсутствие

обратных переходов обозначается графическими элементами, а с другой стороны – обозначения исключаются. Субъект может принять решение остаться в текущем состоянии, что определяется «возвратной» стрелкой (Рис. 1).

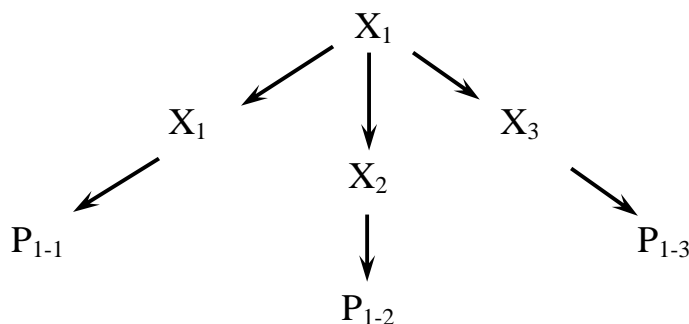
Граф может дополняться по мере развития субъекта переходами в разные состояния. При этом, с учетом цикличности развития экономики, принимается, что граф в его итоговом виде может быть представлен как замкнутая последовательность. В дополнение к данному аргументу необходимо отметить экономические ограничения функционирования субъекта, например, известными диапазонами принимаемых решений.

Для вычислений вероятностей перехода используются модельные деревья критериев с неограниченным количеством участвующих факторов. Согласно методике критерии приводятся к стандартной шкале оценивания, а в узлах древа формируются матрицы свертки [1, 2]. Прохождение каждой матрицы внутри модели сопровождается матричным умножением сертификата полученного на предыдущем уровне сертификации, на сертификат, встретившийся на маршруте матрицы. Результат прохождения всего пути представляет собой обобщенный сертификат на модель комплексного оценивания по данному критерию. Совокупность частных сертификатов по всем критериям принимается за полный сертификат моделей.

При помощи древа свертки может быть получено некоторое количество комплексных оценок привлекательности каждого, ранее описанного состояния. Для того что бы определить вероятность перехода из одного состояния в другое предлагается применять метод взвешенных коэффициентов, согласно которому вычисления вероятностей производится согласно формуле:

$$P_i = X_i / \sum_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

Комплексная оценка привлекательности каждого состояния ( $X_i$ , где  $i$ ,  $n$ - порядковый номер состояния) взвешивается на общую сумму комплексных оценок привлекательности, формируя тем самым вероятность перехода из одного состояния в другое ( $P_i$ ).

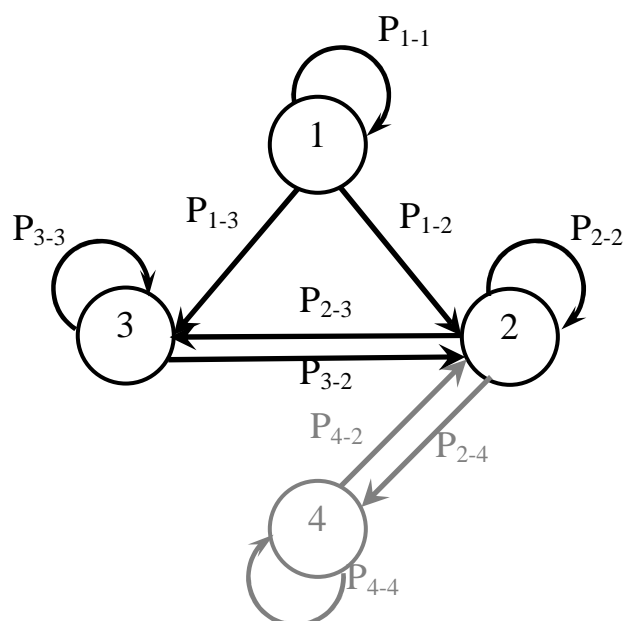


*Рисунок 2. Процесс оценки вероятностей перехода из состояния  $X_1$*

Субъект, находясь в состоянии  $X_1$ , обладает возможностью остаться в данном состоянии или перейти в состояние  $X_2$ ,  $X_3$  (Рис.1, Рис.2). Модель комплексной оценки определила, что  $X_1$  оценивается субъектом 2,3,  $X_2$  - 1,6,  $X_3$  - 3,47. Таким образом, проведя расчет формуле 4, значения вероятностей перехода в состояния составят:  $P_{1-1}$  - 31%,  $P_{1-2}$  - 22%,  $P_{1-3}$  - 47%.

Рассчитанные вероятности перехода и построенный граф могут интерпретироваться одновременно с нескольких позиций. Если рассматривается поведение одного субъекта, то очевиден выбор в пользу переходов с полученной большей вероятностью. Если рассматривается социум, то вероятности определяют распределение участников социума по выбираемым ситуациям. Полный граф по модели Маркова в обязательном порядке требует указания полученных вероятностей перехода (Рис.3)





*Рисунок 3. Пример составления графа переходов для рыночного субъекта с учетом вероятностей смены состояний субъектом.*

Применимость полученной разработки выявляется посредством практической апробации с участием реального контингента. Наиболее применимым в исследованиях методом оценки корректности модели является ее реализация в ограниченных искусственно созданных условиях. Создается имитация объекта моделирования с участием реальных респондентов. Данный подход носит название «Имитационное деловое моделирование», осуществляемое с целью проверки теоретических результатов и применения практических инструментов управления, направленных на создание новых и совершенствование существующих механизмов регулирования. При проведении деловой имитационной игры (ДИИ) проверяется функционирование предлагаемой системы в течение условно-ограниченного временного промежутка. В рамках игры отдельный период функционирования системы рассматривается как одна партия (раунд), при этом предполагается, что сам применяемый механизм функционирования не меняется, т.е. имитация устойчива. В рамках ДИИ, в основном, рассматривается конфликт, формируемый одним участником,

при выборе варианта среди альтернатив, а также, нескольких участников, противодействующих друг другу [3].

При моделировании поведения конкретного субъекта ДИИ характеризуется как модель принятия решений субъекта, находящегося в условиях функционирования конкретной системы (совокупности систем), стремящегося достичь некоторой цели или принять наиболее эффективное решение. С одной стороны, ДИИ является экспериментом, с другой стороны – проверкой ранее полученных теоретических данных на практике, т.е. апробации результатов [4].

Участникам предлагается ситуация, определяется цель, ограничения в принятии решений. Ценность участника, обусловленная наличием жизненного опыта, применяемого в рамках игры, что позволяет оценить реалистичность модели. Каждый участник обладает индивидуальными характеристиками, не поддающимися прогнозированию: склонность к риску, осторожность, целеустремленность, способы достижения результата. Получаемые решения анализируются, ранжируются, группируются, структурируются с целью установления устойчивых множеств групп участников.

Научная ценность для исследователя определяется получением дополнительной информации о ходе рассуждения, алгоритмах принятия решений. Конечной целью является установление: работоспособности и применимости предлагаемой модели, ценности полученной дополнительной информации, а также реализуемости предлагаемых методик в «больших» исследованиях [1, 5].

Единственными активными элементами в рамках ДИИ являются сами игроки. Исследователь и система не изменяются, в том числе, с целью определения скорости адаптации участников. Первые раунды для активных участников являются не только адаптационными, но и аналитическими, в течении которых участники собирают данные о

системе, планируют стратегию и варианты ее развития. Исследователь должен самостоятельно определить с какого раунда принимать данные в «зачет».

На этапе сбора данных участники вправе задавать дополнительные вопросы исследователю и получать нужную информацию для планирования на ее основе управленческих решений. При реализации ДИИ исследователю (ведущему) рекомендуется отказать участникам в дополнительных пояснениях [4].

Исследуемый контингент отличается своим многообразием за счет неповторимости индивидуальностей участников, разнообразности мотивов и ограничений в принимаемых решениях. Естественным следствием является и разнообразие получаемых результатов. Однако они могут быть сравнимы, и определены как адекватные или нет. Считается, что в условиях искусственно воссозданного экономического пространства принимаемые решения подлежат систематизации.

Конечной целью ДИИ является подтверждение эффективности управления системой в условиях активного внешнего воздействия по сравнению с ее самостоятельным развитием. Управленческое воздействие предполагает создание дополнительных ограничений, призванных направить участника в желаемом тренде развития [2].

Совмещая механизмы оценки состава и структуры социума с механизмами прогнозирования принимаемых решений на основе вероятностного подхода, можно получить комплексный подход по определению динамики развития социума, однако социум может изменять свою структуру, что требует проведения после каждого раунда игры дополнительных уточняющих структурных экспериментов. Методы управления могут учитывать необходимость поддержания структуры социума неизменной. Таким образом, можно заранее спрогнозировать динамику за несколько периодов.

**Библиографический список**

- 1) Гуреев К.А. *Концепция использования интеллектуальных технологий в процессах моделирования рыночных систем* // Экономика и предпринимательство, 2013, №12, ч.1. - С. 855-853.
- 2) Гуреев К.А., Сергеева Л.А. *Исследования рынков инструментальными средствами моделирования поведения основных участников* // Экономика и предпринимательство, 2014, №1, ч.2. - С. 814-817.
- 3) Гуреев К.А., Гуреева Е.Г. *Интеллектуальные технологии в процессах моделирования поведения бизнес-единиц* // Актуальные проблемы экономики, 2014, № 1(151). – С. 496-504.
- 4) Гуреев К.А., Харитонов В.А., Чёрный С.А. *Разработка и исследование моделей структуры социально-экономической системы и их применение* // Актуальные проблемы экономики, 2014, № 9(159) – С. 475-487.
- 5) Алексеев А.О., Гуреев К.А., Харитонов В.А., *Интеллектуальные технологии моделирования рынка инвестиций* // Прикладные математические науки, 2013, Т. 7, № 137 – С. 6825-6848.

**Bibliograficheskiy spisok**

- 1) Gureev K.A. *Koncepcija ispol'zovanija intellektual'nyh tehnologij v processah modelirovanija rynochnyh sistem* // Jekonomika i predprinimatel'stvo, 2013, №12, ch.1. - S. 855-853.
- 2) Gureev K.A., Sergeeva L.A. *Issledovanija rynkov instrumental'nymi sredstvami modelirovanija povedenija osnovnyh uchastnikov* // Jekonomika i predprinimatel'stvo, 2014, №1, ch.2. - S. 814-817.
- 3) Gureev K.A., Gureeva E.G. *Intellektual'nye tehnologii v processah modelirovanija povedenija biznes-edinic* // Aktual'nye problemy jekonomiki, 2014, № 1(151). – S. 496-504.
- 4) Gureev K.A., Haritonov V.A., Chjornyj S.A. *Razrabotka i issledovanie modelej struktury social'no-jekonomicheskoj sistemy i ih primenenie* // Aktual'nye problemy jekonomiki, 2014, № 9(159) – S. 475-487.
- 5) Alekseev A.O., Gureev K.A., Haritonov V.A., *Intellektual'nye tehnologii modelirovanija rynka investicij* // Prikladnye matematicheskie nauki, 2013, T. 7, № 137 – S. 6825-6848.