

9. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб для вузов / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.
10. Красс, М.С. Математика в экономике. Математические методы и модели: учеб. / М.С. Красс, Б.П. Чупрынов. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 544 с.
11. Мандель, И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.

УДК 332.012.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ФАКТОРОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ МЕТОДОМ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Горелко Георгий Петрович ([gheorghigorelco@gmail.com](mailto:gheorghigorelco@gmail.com))

Коровин Дмитрий Игоревич

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им.В.И.Ленина»»

В статье моделируется и анализируется динамика изменения некоторых факторов социально-экономической системы России с помощью теории графов. Для анализа основных показателей модели (в том числе тех показателей, не поддающихся непосредственному количественному измерению), предлагается решение некоторой оптимизационной задачи. В статье выполнен анализ зависимости между ценами на нефть, на импорт, динамикой благосостояния различных групп населения и их влияния на государство (правительство).

**Ключевые слова:** социально-экономическая система, колебания, сбалансированность, матрица сопряженности, знаковый орграф.

Социально-экономические системы (СЭС) характеризуются неоднородностью, разнохарактерностью составных элементов и связей, структурным разнообразием. Такие системы являются открытыми и обладают способностью к сложному поведению, способны к самоорганизации и саморазвитию с течением времени. Под *открытой* системой принято понимать систему, находящуюся под постоянным воздействием многочисленных факторов внешней среды, которые могут позитивно или негативно влиять на деятельность системы. Ответной реакцией системы на эти факторы является принятие решений либо по их устранению, либо по их приспособлению к ним его внутренней среды.

В силу своей сложности поведение СЭС требует тщательного изучения. Для этого существует множество методов, целями которых является определение наиболее оптимального варианта развития СЭС. Однако сегодня экономическая и политическая нестабильность, определяющие высокий риск, повышают интерес к применению частных методов моделирования ежеминутной ситуации. Учитывая, что социально-экономическая система (СЭС) слабо структурирована и многие показатели системы обладают высокой неопределенностью, целесообразно исследовать варианты сочетания потенциальных ситуаций и разрабатывать такие мероприятия, реализация которых «не навредит» в широком спектре потенциальных возможностей. «Оптимальные» в классическом понимании методы отказывают в таком подходе. Даже в вариативных статистических методах выводы сводятся к построению «наиболее

ожидаемого сценария», выбор которого основан на применении закона больших чисел.

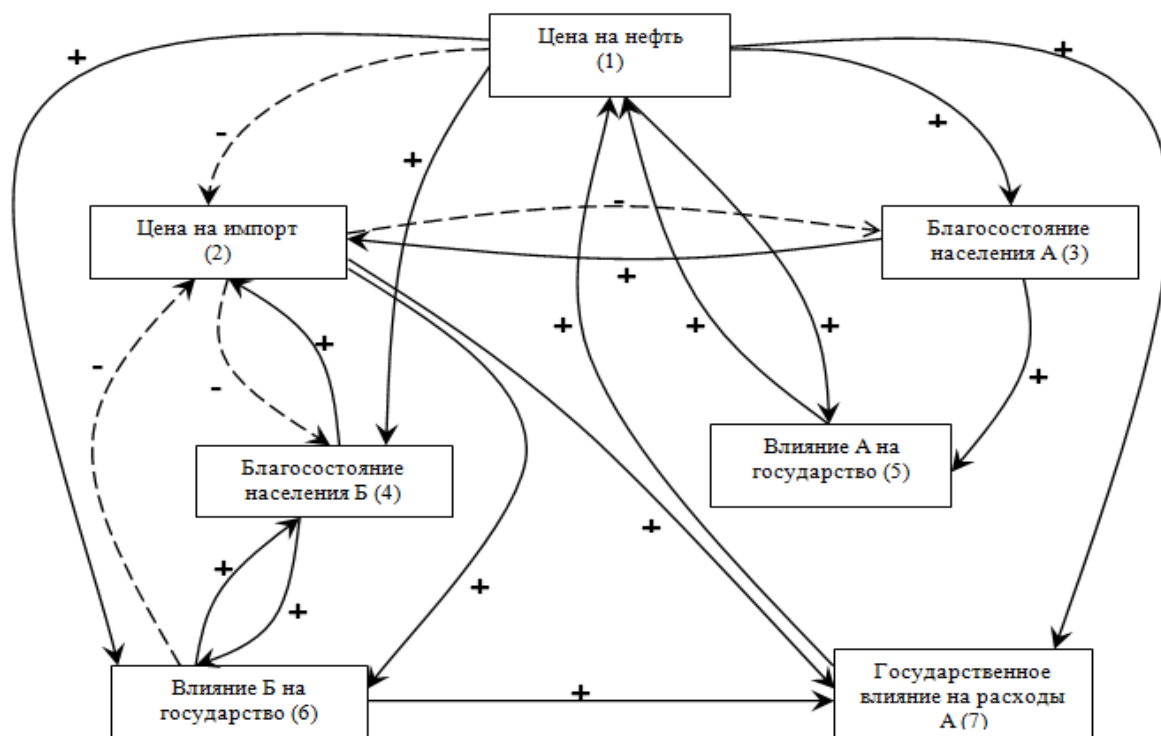
Для «сценарных» исследований СЭС в работе применяются методы имитационного моделирования. Модели имитационного моделирования, широко применяются в различных областях, в том числе и в экономике (некоторые специалисты (Н.Н.Моисеев, Ю.Б.Колесов, Ю.Б.Сениченков) указывают на то, что сам термин "имитационное моделирование" в русском языке нонсенс. Действительно, любая модель - имитационная, ведь она только имитирует реальность. Правильнее в такой ситуации использовать английский термин "simulation modeling"). В настоящее время ее используют как для решения задач внутрифирменного управления, так и для моделирования управления на макроэкономическом уровне. Проведение серий имитационных экспериментов позволяет исследователю анализировать нетривиальное поведение системы и на ее основе принимать решения, вырабатывать стратегию развития.

С развитием средств вычислительной техники и программного обеспечения проведение таких экспериментов возможно с помощью различных программных продуктов, поэтому имитационные модели являются наиболее популярными среди широкого круга экспертов. Связано это с тем, что проведение реальных экспериментов с экономическими системами, по крайней мере, неразумно, требует значительных затрат и вряд ли осуществимо на практике. Таким образом, имитация является единственным способом исследования систем без осуществления реальных экспериментов.

В настоящей работе авторами исследуется динамика развития нефтяной отрасли России и благосостояния различных групп населения за 2012 год, а также приводится анализ их влияния на состояние социально-экономической системы посредством имитационного моделирования. Основой имитации послужила математическая модель, предложенная в работе [1]. В качестве инструмента для исследования был рассмотрен аппарат знаковых орграфов (рис. 1), где каждой дуге сопоставляется некоторое число - «степень воздействия» вершины на вершину. Стоит отметить, что в представленной модели представителями населения *A* являются группа лиц, являющихся владельцами крупных портфелей активов («олигархи»), представителями населения *B* являются группа людей, не владеющие активами или владеющие несущественными активами неспособные вне организованной группы влиять на принятие управленческих решений по социально-экономическим вопросам.

Напомним, что для анализа орграфа использовалась матрица сопряженности (*A*) раз-

мерностью  $n+1 \times n+1$  ( $n$  - количество вершин орграфа), где элемент матрицы принимал положительное значение, если пара вершин соединены ребром с положительным воздействием, отрицательное значение, если пара вершин соединены ребром с отрицательным воздействием, а в остальных случаях - 0. Столбец и строка с номером  $n+1$  матрицы сопряженности соответствуют вершине «время», в течение которого происходят воздействия на систему. В матрице сопряженности графической модели в качестве весов, определяющую силу связи, могут использоваться данные либо статистических исследований, либо экспертных оценок. С помощью матрицы сопряженности исследовались различные сочетания влияния всех взаимосвязей на поведение СЭС. Перемножая матрицу сопряженности на себя дважды, получили результат взаимодействия связей, при анализе последовательностей двух вершин, трижды – трех вершин и т.д.



**Рисунок 1. Графическое представление функционирования СЭС в нефтегазовом секторе экономики**

Рассмотрим приведенный на рис.1 граф, который в нашей модели определяет влияние факторов СЭС друг на друга. Факторы в нашем графе сопоставляются с вершинами. В качестве вершин орграфа взяты следующие параметры: 1 – цена на нефть, 2 – цена на импорт, 3 – благосостояние населения *A*, 4 – благосостояние населения *B*, 5 – влияние группы *A* на го-

сударство, 6 – влияние группы *B* на государство, 7 – государственное влияние на расходы представителей группы *A*.

В орграф включены наиболее важные непосредственные связи. Например, дуга (1-2) отрицательная, поскольку рост цен на нефть укрепляет российский рубль, соответственно цены на импорт снижаются. Однако с увеличени-

ем цены на импорт государство демонстрирует политику, основанную на выравнивании доходов групп *A* и *B*, так как в противном случае возрастает социальное неравенство и опасность негативного восприятия группой *B* деятельности правительства (дуга 2-7 – положительная). Так как это влияние, прежде всего, выражается в виде дополнительного налогового обременения, то это в свою очередь увеличивает цену на нефть (дуга 7-1 – положительная). Заметим, что контур (1-2-7-1) оказался несбалансированным (произведение знаков в контуре отрицательно). Известно, что в таких случаях возможны колебания, как, например, в известной модели «хищник-жертва».

В работе для анализа динамики изменения социально-экономической системы используется правило:

$$P_t = P_0 \times A^t \quad (1)$$

где  $(A)^t$  - есть символьная процедура перемножения матрицы сопряженности *A* с собой *t* раз (где *t* – рассматриваемый промежуток времени),

$P_0$ -вектор начального распределения.

В качестве начальных значений матрицы сопряженности и вектора начального распределения предполагается брать значения переменных, полученных путем решения следующей оптимизационной задачи.

Пусть  $f_i(t)$  – функция, построенная на основе реальных статистических данных по *i*-ому показателю ( $i = 1, \dots, 4$ ), а  $f_5(t) = f_6(t) = f_7(t) = 1$ . Значения показателей рассматриваются ежемесячно за год ( $t = 1, 2, 3, \dots, 12$ ).

Рассмотрим функции

$$\overrightarrow{y}(t, A) = (y_1(t, A), y_2(t, A), \dots, y_n(t, A)) \quad (2)$$

как результат перемножения вектора начального распределения на матрицу  $A^t$

$$\overrightarrow{y}(t, A) = P_0 \times A^t \quad (3)$$

Ненулевые компоненты матрицы *A* находятся из условия:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^T (f_i(t_k) - y_i(t_k, A))^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

Таким образом, решение данной оптимизационной задачи обеспечивает в частности достаточно точное описание динамики изменения известных величин  $f_1(t) - f_4(t)$ .

В качестве статистической базы известных значений функции  $f_i(t)$  были использованы ежемесячные данные следующих параметров (табл. 1):

- $f_1(t)$  – мировая цена на нефть марки Urals [2].
- $f_2(t)$  – курс доллара на текущий момент времени (в качестве *цены на импорт* рассматривается курс доллара, как взаимосвязанные параметры – увеличение стоимости доллара влечет к увеличению цены на импорт) [8].
- $f_3(t)$  – совокупный оборот 20 наиболее ликвидных акций российских компаний (рассматривается в качестве вершины «доходы населения *A*») [4]
- $f_4(t)$  – среднедушевые денежные доходы населения по Российской Федерации (рассматривается как вершина «доходы населения *B*») [7].

Особый интерес в модели вызывают вершины, количественные значения которых неизвестны (ненаблюдаемые вершины  $f_5(t)$ ,  $f_6(t)$ ,  $f_7(t)$ ) и то, каким образом они ведут себя в системе. Данные вершины условны. Поэтому авторами делается попытка моделирования некоторым образом своего восприятия и показать, как эти величины изменяются со временем в рамках данной модели. Для этого предлагается ненулевые значения матрицы сопряженности определить некоторыми условными единицами, для того, чтобы учесть изменение и воздействие этих вершин на систему.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & F_{12} & F_{13} & F_{14} & F_{15} & F_{16} & F_{17} & 0 \\ 0 & 0 & F_{23} & F_{24} & 0 & F_{26} & F_{27} & 0 \\ 0 & F_{32} & 0 & 0 & F_{35} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & F_{42} & 0 & 0 & 0 & F_{46} & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Таблица 1

## Динамика изменения показателей за 2012 год (в руб.)

	Цена на нефть Urals $f_1(t)$	Курс доллара $f_2(t)$	Доходы населения А $f_3(t)$	Доходы населения Б $f_4(t)$
январь	3486,07	31,40	8,7E+11	15958,80
февраль	3617,34	29,98	9,7E+11	20126,40
март	3714,45	29,31	1,1E+12	20293,30
апрель	3563,73	29,50	8,5E+11	22028,70
май	3427,39	30,91	8,9E+11	21035,60
июнь	3128,15	32,80	7,2E+11	23532,70
июль	3356,38	32,54	6,8E+11	22343,90
август	3649,79	31,99	6,7E+11	23219,10
сентябрь	3561,86	31,47	7,8E+11	23225,50
октябрь	3491,43	31,08	6,2E+11	22827,00
ноябрь	3463,25	31,38	5,8E+11	22444,00
декабрь	3403,60	30,74	5,0E+11	34993,00

На первом этапе имитационного эксперимента исследовалась динамика известных параметров  $f_i(t)$ . При этом для расчетов коэффициентов матрицы сопряженности использовались центрированные и нормированные значения приращений функций  $f_i(t)$  на интервале  $[-1; 1]$ , а не абсолютные значения. Это связано с тем, что воздействия на систему могут носить мультипликативный характер [6].

Следующим этапом было вычисление самих коэффициентов матрицы сопряженности по формуле (4). Данный подход основывался на

построении сравнительных графиков и использовались для аппроксимационных целей (рис. 2). Визуальный анализ графика позволяет сделать вывод о присутствии достаточно отчетливых колебаниях параметров.

Поиск подходящих коэффициентов по критериям минимизации целевой функции  $F$ , таким образом, для рассматриваемой модели (рис.1.) привел к следующим коэффициентам начальных значений матрицы сопряженности А (6):

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -0,000010 & 1,910821 & 10,990358 & 0,000005 & 0,463816 & 1,598670 & -0,239734 \\ 0 & 0 & -1,418458 & -0,000009 & 0 & 0,588164 & 0,000002 & 0,129211 \\ 0 & 7,823409 & 0 & 0 & 7,716626 & 0 & 0 & -1,204570 \\ 0 & 0,131413 & 0 & 0 & 0 & 0,154932 & 0 & -0,020168 \\ 1,612276 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,092023 \\ 0 & -1,344565 & 0 & 8,125590 & 0 & 0 & 1,134644 & -0,153472 \\ -0,0001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,316216 \\ 9,439610 & 2,395832 & -10,050160 & 2,173236 & 2,978892 & 4,544226 & 0,066622 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

А значения вектора начального распределения определены следующим образом:

$$P_0 = (0,380357 \quad -0,83544 \quad 0,295399 \quad 0,350383 \quad 1,076319 \quad -0,11287 \quad -2,65604 \quad 1) \quad (7)$$

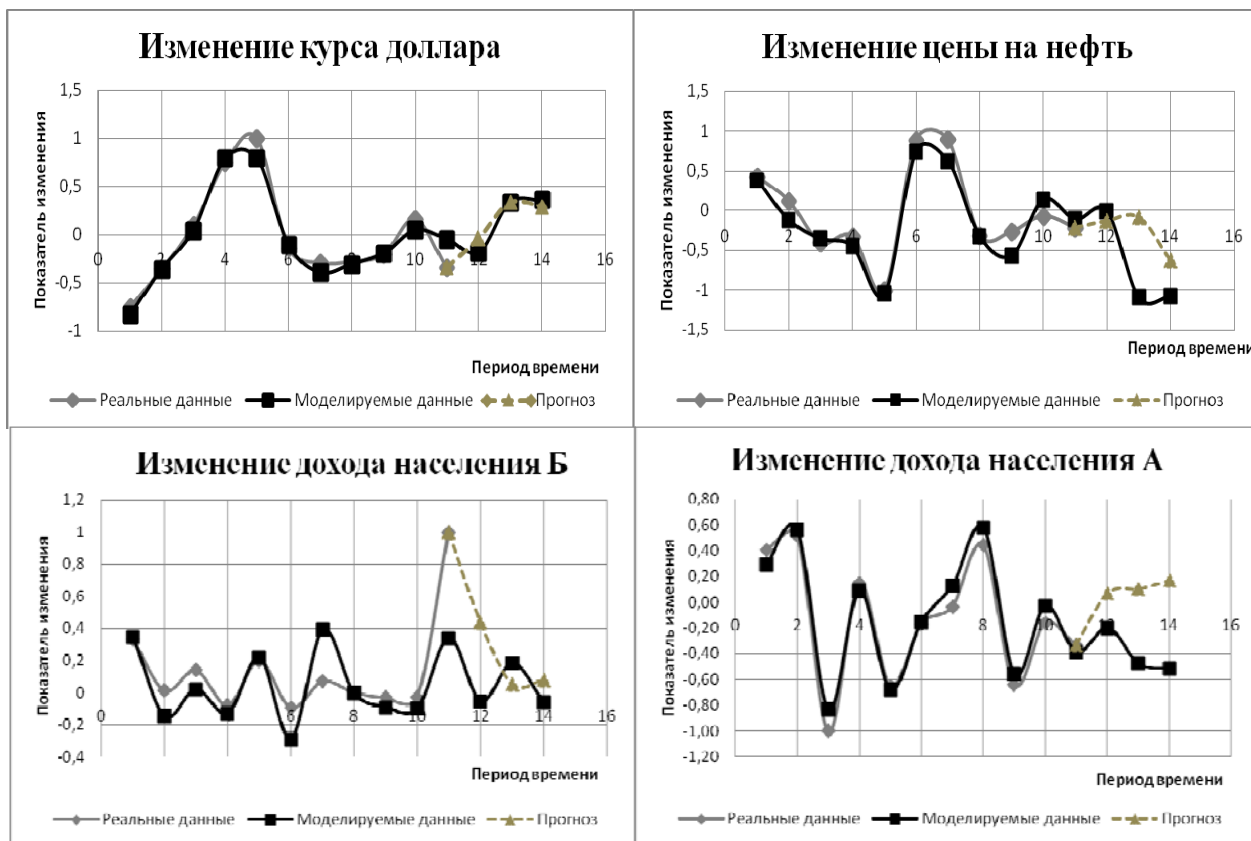
Как видно из рис. 2 (диаграммы получены авторами посредством применения пакета прикладных программ MSExcel 2007), построенная модель практически полностью описывает тенденцию исследуемых величин. Конечно, нельзя исключать воздействия и внешних факторов на систему.

Так, например, для достоверности анализа результатов авторами дополнительно были рассмотрены текущие данные по первым четы-

рем месяцам 2013 года в качестве прогноза и исследовано поведение модели за рассматриваемый промежуток времени с полученными коэффициентами матрицы сопряженности (сравнение черной линии со штрих пунктирной линией - «прогноз» на рис.2). Построенная модель в действительности описывает тенденции к росту курса доллара, к снижению цены на нефть и доходности населения Б. В то же время расхождение показателя динамики в части

доходности населения *A* в модели можно объяснить тем, что был неучтен фактор «выплаты дивидендов», который и попадает в рассматриваемый промежуток (апрель месяц включительно). Действительно, факт прироста благосостояния учтен не был, а стоимость акций сни-

зилась в соответствии с практикой потери стоимости акций после решений о выплате дивидендов. Подобное поведение модели, не учитывающее периодические низкочастотные эффекты, возможно из-за короткого промежутка времени наблюдения.



**Рисунок 2. Сравнение динамики изменения показателей, полученной по модели, с реальными данными**

Таким образом, на основе полученных данных, был сделан анализ динамики изменения взаимоотношения рассматриваемых элементов социально-экономической системы (рис.1) построены соответствующие графики для анализа воздействия вершин друг на друга.

Данная имитационная модель позволяет графически иллюстрировать, объяснять следующие очевидные выводы, а также неочевидное совместное поведение параметров модели:

- 1) Изменение цены на нефть пропорционально изменению благосостояния населения *A*, что означает прямое увеличение доходности населения *A* при увеличении цены на нефть, и обратно (рис.3). Очевидно, что влияние группы *A* на государство по поводу цены на нефть существенно.
- 2) В то же время наблюдается обратная зависимость цены на нефть с ценой на импорт (рис.4). Этим можно объяснить проводимую политику государством в направлении выравнивания доходности населения *A* и *B* во избежание каких-либо социальных катастроф.

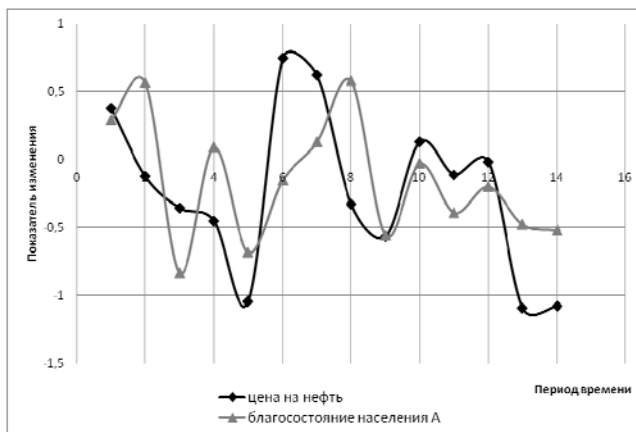
- 3) Подобный тренд (обратного соотношения) наблюдается и в динамике изменения цены на нефть и контроля государства за расходами населения *A* (рис.5). С увеличением цены на нефть, контроль государства за расходами *A* ослабевает, и наоборот. Такое поведение системы, по мнению авторов, можно объяснить, в том числе, и высоким уровнем коррупции.
- 4) Изменение цены на нефть однако существенным образом не оказывает сильного влияния на благосостояние населения *B* (рис.6). За рассматриваемый промежуток времени сильных скачков не наблюдается. Можно заметить некоторые черты так называемого «ресурсного проклятия» («ресурсное проклятие» это наблюдаемый парадокс, который заключается в том, что страны в изобилии наделённые природными ресурсами имеют темпы экономического роста ниже, чем страны практически лишённые таковых).
- 5) Наличие обратно пропорционального соотношения между изменением цены на импорт

и благосостоянием населения *Б* также прослеживается на графике рис.7.

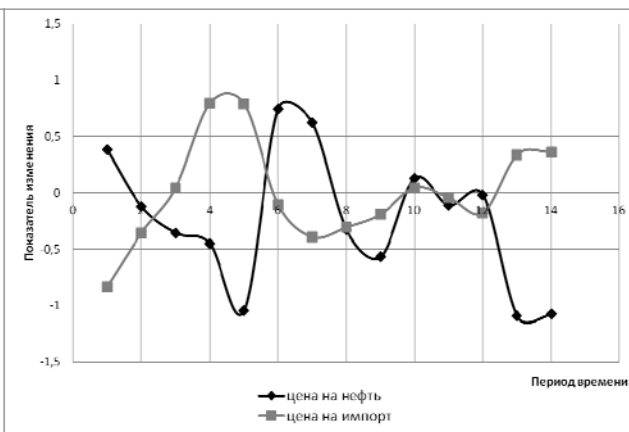
- 6) Усиление влияния населения *Б* на государство становится заметным при достижении критического минимума в части, касающегося доходности населения данной группы. Данная тенденция четко прослеживается на

графике и характеризуется значительными колебаниями (серая линия) (рис.8).

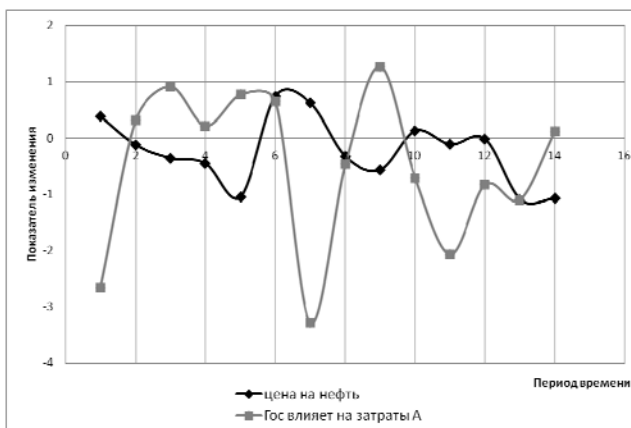
- 7) Увеличение доходности населения *А* приводит к усилению влияния населения *Б* на государство (рис.9), возможно, последнее комментирует возросшую политическую протестную активность населения в 2012 году.



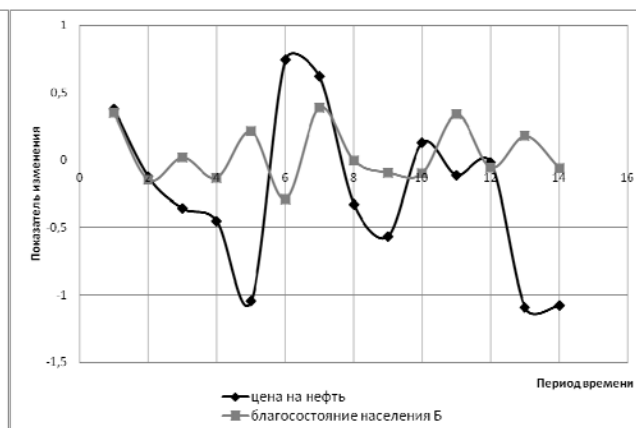
**Рисунок 3. Динамика изменения цены на нефть и благосостояния населения А**



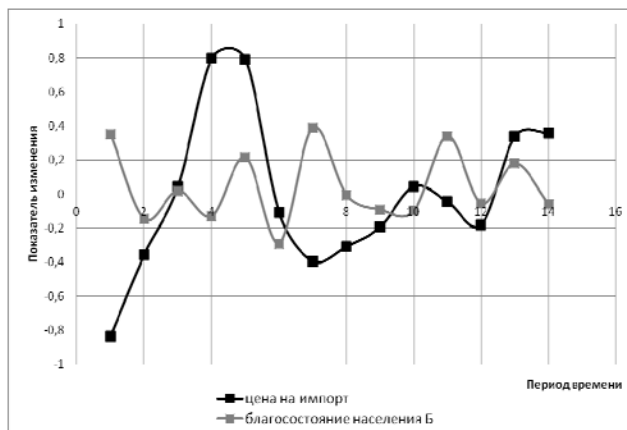
**Рисунок 4. Динамика изменения цен на нефть и импорт**



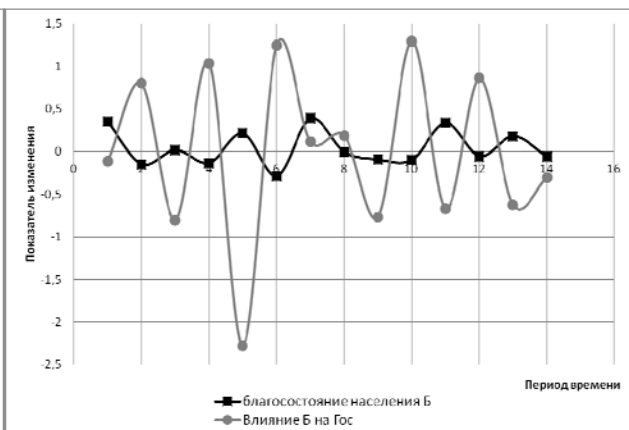
**Рисунок 5. Динамика изменения цены на нефть и контроля государства за расходами населения А**



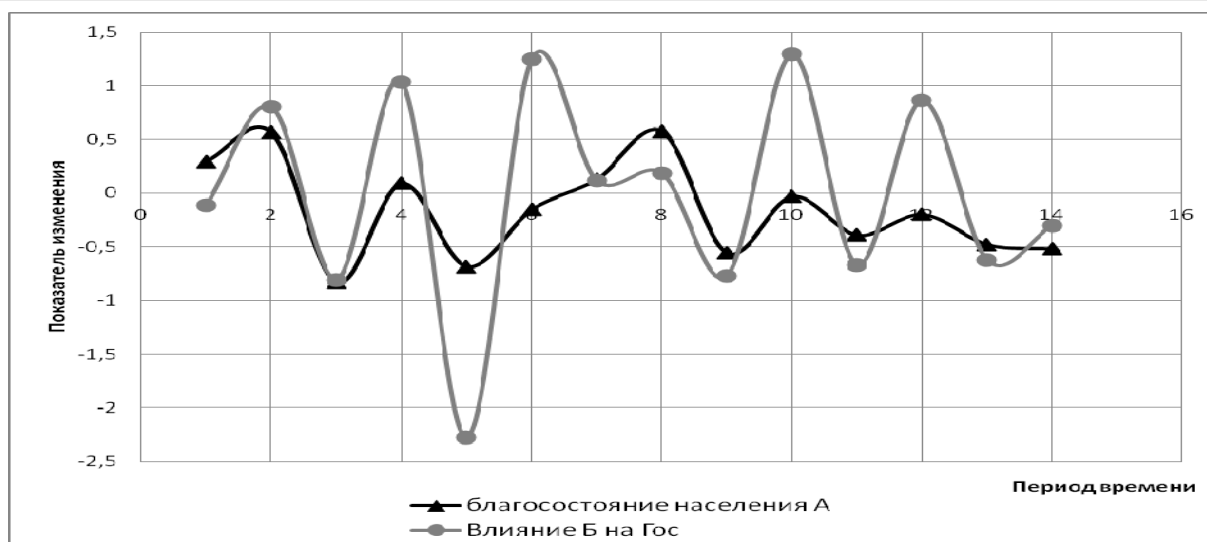
**Рисунок 6. Динамика изменения цены на нефть и благосостояния населения Б**



**Рисунок 7. Динамика изменения цены на импорт и благосостояния населения Б**



**Рисунок 8. Динамика изменения благосостояния населения Б и ее влияния на государство**



**Рисунок 9. Динамика изменения благосостояния населения А и влияние благосостояния населения Б на государство**

Таким образом, исследуя характер и поведение социально-экономической системы с помощью аппарата знаковых графов можно строить прогноз устойчивости социально-экономических отношений, моделируя различные ситуационные поведения системы. С помощью этого аппарата можно также планировать внесение в СЭС определенных управляющих воздействий для достижения необходимых тенденций стабилизации и развития. При решении этой задачи можно определить набор вершин, в которые следует вносить управляющие воздействия, приводящие к необходимому результату, а также характер этих воздействий.

#### Литература

1. Горелко Г.П. Исследование поведения социально-экономической системы с учетом фактора времени // Проблемы экономики, финансов и управления производством. Сборник научных трудов вузов России – Иваново: ИГХТУ, 2012. - №32. - С. 213-217
2. Динамика цен на нефть, ежемесячный отчет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.topoilnews.com/> (дата обращения 20.03.2013)
3. Егоров В.Н., Коровин Д.И. Функциональный подход к изучению экономических проблем

надежности производства // Личность. Культура. Общество. Т. V. Вып. 3–4 (17–18) /РАН, Национальная академия наук Беларуси. – М., 2003.

4. Информационный портал по финансовому и инвестиционному рынку [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stocks.investfunds.ru> (дата обращения 20.03.2013)
5. Коровин Д.И., Горелко Г.П. Об одном методе описании социально-экономических систем // Сб. науч. тр. конф. «Моделирование – 2012». -Киев: ИПМЭ, 2012. -С. 158-161.
6. Коровин Д.И., Горелко Г.П. Математическое моделирование влияния мотивации на принятие решений в социально-экономических системах //Известия высших учебных заведений. Серия: экономика, финансы и управление производством. - 2012. -№4. – С. 98-103.
7. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/> (дата обращения 22.03.2013)
8. Фондовая биржа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.finam.ru/> (дата обращения 20.03.2013)