

## СТРУКТУРА ЦИКЛА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБМЕНА ПО ДАННЫМ ИМИТАЦИОННОГО АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О.М. Зверева, Д.Б. Берг (Екатеринбург)

### Введение

Целостность социальных и экономических систем обеспечивается коммуникациями между отдельными агентами (индивидуальными или групповыми). При коммуникациях происходит обмен смыслами [1], информацией, энергией, материальными ценностями, финансами и др.

В экономических системах основными целями коммуникации являются обеспечение ресурсами своего производства и сбыт готовой продукции. Макроэкономические условия обмена между агентами могут быть описаны уравнениями межотраслевого баланса (МОБ) Леонтьева, однако в этой математической модели не рассматриваются коммуникации между отдельными агентами.

Для исследования коммуникаций в условиях МОБ разработана агентная модель, которая описана ниже. Одним из управляющих параметров созданной модели является количество денег в обороте. Оказалось, что при недостатке денег в обороте скорость обменов при коммуникациях падает. Целью данных материалов является исследование структуры цикла экономического обмена и изучение влияния объема денежной массы на коммуникативную способность агентов.

### Межотраслевой баланс Леонтьева

Начальные характеристики агентов задаются на основе статического МОБ Леонтьева [2]. Эта математическая модель также известна под названием «затраты – выпуск».

В модели Леонтьева задействованы следующие объекты:

$\vec{X}$  ( $\vec{X} = \|x_i\|$ ) – вектор выпуска экономической системы, где  $x_i$  – объем выпуска  $i$ -го экономического агента;

$\vec{Y}$  ( $\vec{Y} = \|y_i\|$ ) – вектор свободных остатков экономической системы, где  $y_i$  – остаток своей продукции у агента после обеспечения производственных нужд;

технологическая, или производственная, матрица ( $A = \|a_{ij}\|$ ), определяющая уровень потребностей агентов в продукции друг друга.

Для обеспечения своего производства агенты потребляют продукцию других агентов – субъектов этой экономической системы в объемах  $w_{ki}$ , где  $w_{ki}$  – потребность  $i$ -го агента в продукции  $k$ -ого агента. Для каждого агента-субъекта системы можно говорить о существовании вектора ( $\vec{W}_i$ ) потребностей в продукции других агентов.

Потребность  $i$ -го агента в продукции  $k$ -го агента ( $w_{ki}$ ) прямо пропорциональна объему выпуска  $i$ -го агента ( $x_i$ ) и определяется технологией производства этого экономиче-

ского агента. Коэффициент пропорциональности  $a_{ki} = \frac{w_{ki}}{x_i}$  является безразмерным и показывает, какое количество продукции  $k$ -го агента требуется для производства единицы продукции  $i$ -го агента. Эти коэффициенты и составляют технологическую матрицу.

Статический вариант МОБ Леонтьева определяется следующим векторным уравнением:

$$\vec{X} - A\vec{X} = \vec{Y}, \quad (1)$$

Векторы  $\vec{X}$  и  $\vec{Y}$  обычно задаются в стоимостном выражении.

Вектор потребностей  $i$ -го агента определяется вектором:

$$\vec{W}_i = [a_{1i} \cdot x_i, a_{2i} \cdot x_i, \dots, a_{ni} \cdot x_i]. \quad (2)$$

### Компьютерная реализация модели

Агент в модели имеет следующие производственные характеристики: вектор потребностей в ресурсах ( $\vec{W}_i$ ), объем выпуска продукции ( $x_i$ ) и свободный остаток ( $y_i$ ).

В модели определен ряд денежных величин, т.е. для каждого агента определено состояние его денежного счета. В начальный момент времени, до начала всех коммуникационных процессов, на счет агента зачисляется аванс, сумма которого пропорциональна произведенному агентом товару. Коэффициентом пропорциональности является коэффициент обеспеченности деньгами ( $k_{\text{мон}}$ ). В данной модели он устанавливается одинаковым для всех агентов (обеспечение равных условий функционирования для всех субъектов системы) и является тем элементом, изменяя который мы воздействуем на всю систему в целом.

Агенты вступают в коммуникации для совершения обменов (имеющиеся на счету деньги агента-инициатора коммуникации обмениваются на товар другого агента). Весь коммуникационный процесс разбит на отдельные циклы обмена. В цикле обмена каждому агенту, выбираемому случайным образом, предоставляется возможность однократно вступить в коммуникацию с другим агентом. Агент-инициатор готов к такой коммуникации, если у него есть не обеспеченные потребности в товаре других агентов системы и деньги на счету для оплаты этих потребностей. Просматривается список его потребностей и если находится не нулевая потребность и у агента, производящего эту продукцию, продукция есть в наличии, то обмен совершается. Обмен между  $i$ -м агентом, инициировавшим коммуникацию, и  $j$ -м агентом производится в объеме, равном минимальному из трех значений: потребность  $i$ -го агента в продукции  $j$ -го агента ( $w_{ij}^t$ ), объем денег на счету  $i$ -го агента ( $m_i$ ), объем продукции, имеющийся у  $j$ -го агента для продажи ( $x_j$ ) на момент обмена.

Циклы обмена повторяются до тех пор, пока осуществляются успешные коммуникации. Когда этап коммуникаций заканчивается, со счетов агентов списывается сумма, равная авансу, и модель готова к переходу на следующий этап – этап производства. Таким образом, в модели реализована возможность циклического повторения коммуникационного и производственного этапов.

Модель реализована в свободнораспространяемой системе моделирования NetLogo, основанной на диалекте языка Logo [3]. Вид окна модели представлен на рис. 1. В окне находится поле моделирования, на нем графически изображены экономические агенты. Коммуникативные акты изображаются стрелками, поэтому в конце моделирования коммуникационного этапа возникает такая картина, как представлена на рис.1. Также в окне расположены элементы управления – кнопки и рычажок (slider). Кнопки позволяют инициировать работу модели в целом, кнопка «старт», начать коммуникационный этап, кнопка «коммуникации» – запустить производство, кнопка «производство», завершить работу, записав нужные данные в файл, – кнопка «стоп».

В окне расположены элементы, в которые выводится определенная информация о результатах моделирования: экраны (monitors), показывающие число завершившихся коммуникационных этапов, число циклов обмена и обменных операций в последнем завершившемся коммуникационном этапе и число отставших агентов. Под отставшим агентом понимается такой агент, который не полностью обеспечил себя в ходе коммуникаций для последующего этапа производства.

Также в окне модели строятся два графика: график зависимости числа коммуникационных актов от цикла обмена и график зависимости величины использованных денежных средств от цикла обмена. Цикл обмена – это единица времени модели (соответствует «тику» системных часов), поэтому обе зависимости можно считать временными.

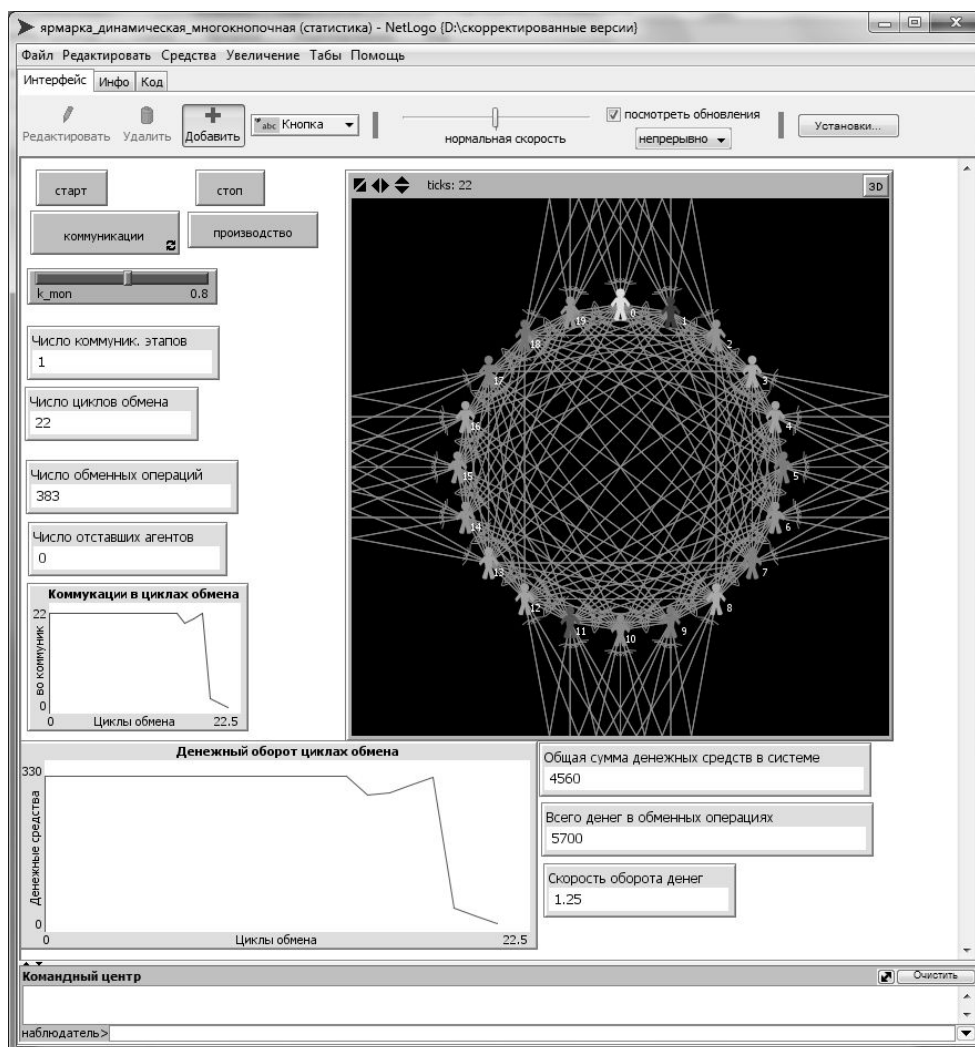


Рис. 1. Окно модели

### Результаты моделирования

На данной модели проводились эксперименты для исследования влияния объема имеющейся денежной массы на изменение коммуникационной способности агентов. Рассматривались системы с 7 действующими агентами, 20 и 50 агентами.

Моделировались системы, в которых действуют агенты с одинаковыми коммуникационными способностями (технологические матрицы систем содержат одинаковые по величине элементы).

Для семиагентной модели

$$a_{ij}=0,1; \forall i, i=1\forall..7; j, j=1..7;$$

$$\vec{X} = [500,500,500,500,500,500,500];$$

$$\vec{Y} = [150,150,150,150,150,150,150].$$

Для двадцатиагентной модели:

$$a_{ij}=0,03; \forall i, i=1..20; \forall j, j=1..20;$$

$$\vec{X} = [500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500,500];$$

$$\vec{Y} = [200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200]$$

Для пятидесятиагентной модели:

$$a_{ij}=0,01; \forall i, i=1..50; \forall j, j=1..50;$$

все элементы вектора  $\vec{X}$  имеют значение 500 у.е.;

все элементы вектора  $\vec{Y}$  имеют значение 250 у.е.

При изменении коэффициента обеспеченности деньгами ( $k_{mon}$ ) от 0,1 до 1,0 измерялись следующие параметры:

объем денежных средств, использованных в отдельном цикле обмена ( $M$ , в у.е.);

длительность всего коммуникационного этапа, выраженная в числе циклов обмена, необходимых для полного удовлетворения потребностей всех агентов в продукции друг друга.

В моделях с разным количеством агентов, но однотипными технологическими матрицами были отмечены сходные результаты. На рис. 2 можно проследить динамику изменения объема денежных средств, использованных в цикле обмена, при разных значениях коэффициента обеспеченности деньгами (показаны результаты тестирования для пятидесятиагентной модели).

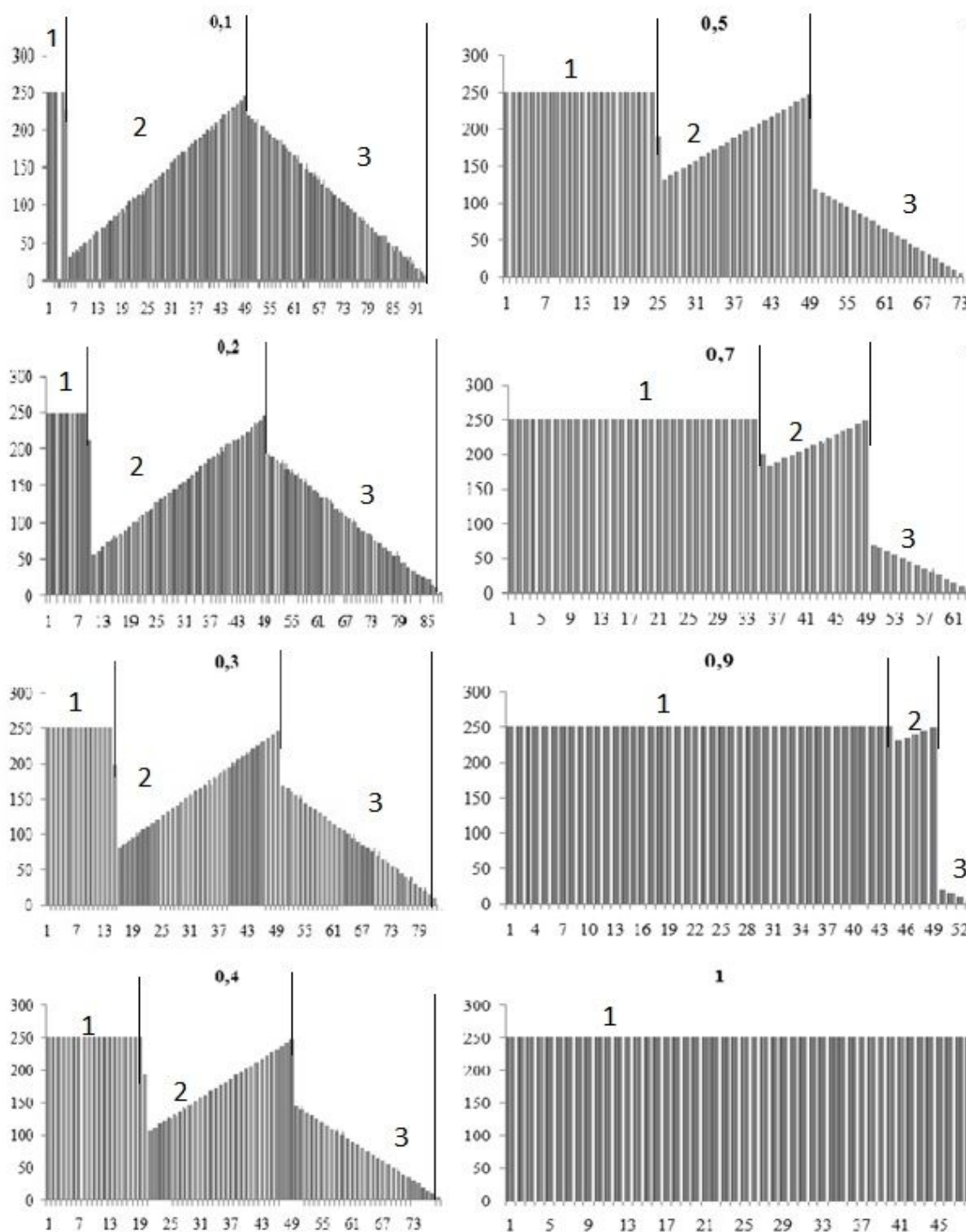
По диаграммам видно, что коммуникационный этап можно разбить на три периода: первый период – все идет хорошо, все коммуникации успешны, обмены идут в объеме потребностей агентов; второй период (кризис и постепенный выход из него) – сначала снижение числа успешных коммуникаций, обмены частично обеспечивают потребности (кризис), затем постепенный подъем, объем обменов нарастает (выход из кризиса); завершающий этап – «дообеспечение» потребностей.

Все режимы обеспечения деньгами можно разбить на три группы:

в системе не хватает денег ( $k_{mon} \leq 0,7$ ), первый период растет с ростом  $k_{mon}$ : чем больше  $k_{mon}$ , тем длиннее период устойчивости; второй период характеризуется достаточно резким спадом, чем меньше  $k_{mon}$ , тем глубже кризис и медленнее выход из него; третий период уменьшается с ростом  $k_{mon}$ .

в системе достаточное количество денег ( $0,7 < k_{mon} < 1$ ): значительный по длительности первый период, практически вырожденный второй и зеркальный ему третий период;

в системе нормальное (или избыточное) количество денег ( $k_{mon} \geq 1$ ): второй и третий период вырождены, все коммуникации успешны, обмен в объеме потребности, что подтверждает верность количественной теории денег и уравнения Фишера [4].

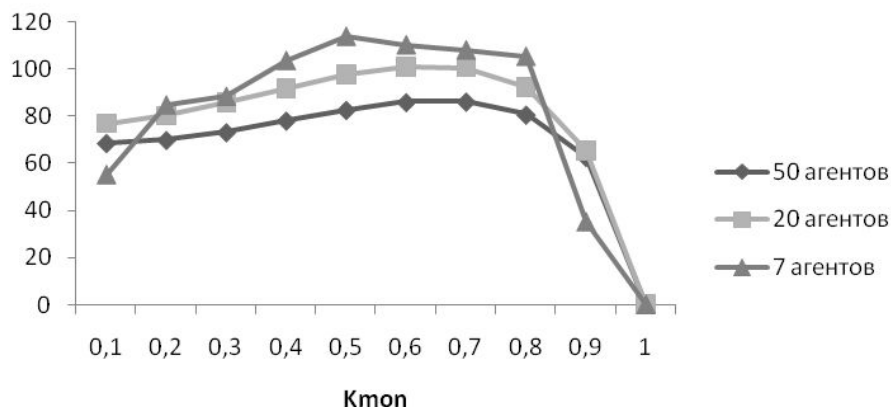


**Рис. 2. Временные диаграммы использования денежных средств при коммуникациях агентов при разных значениях коэффициента обеспеченности деньгами**

Как видно из графика (рис.3), стандартное отклонение сначала растет, около  $k_{\text{мон}}=0,4-0,6$  достигается максимум, затем оно начинает уменьшаться. Можно говорить о том, что самое трудно прогнозируемое состояние системы возникает при коэффициенте обеспеченности деньгами в диапазоне от 0,4 до 0,6. При таком большом разбросе значе-

ний трудно предсказать, сколько наличных денежных средств может потребоваться в реальной экономической системе в некоторый момент времени для успешной поддержки обменных процессов.

**Стандартные отклонения объемов денежных средств, использованных в циклах обмена**



**Рис. 3. Графики зависимости стандартных отклонений объемов денежных средств от коэффициента обеспеченности деньгами**

### Выводы

В данной работе сделана попытка на основе известной математической модели построить имитационную модель. Статический МОБ Леонтьева не предназначен для описания процесса во времени. Применение технологии имитационного моделирования позволило исследовать процесс во времени, ввести управляющее воздействие в виде денежного коэффициента, определяющего соотношение товарной массы и денежной массы, служащей для обеспечения товарооборота в системе. Эксперименты показали, что при любом количестве агентов устойчивость или, наоборот, непредсказуемость поведения системы зависит от характера технологической матрицы и объема денег, обращающихся в системе. Критичным можно считать коэффициент обеспеченности деньгами от 0,4 до 0,6. При таких значениях коэффициентов наибольший разброс значений денежных средств, используемых в течение одного цикла (круга) обмена.

### Литература

1. Луман Н. Социальные системы. Очерк общей теории: пер. с нем. [Текст] / Никлас Луман. – СПб.: Наука, 2007. – 668 с.
2. Леонтьев В.В. Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика: пер. с англ. [Текст] / В.В. Леонтьев. – М.: Политиздат, 1990. – 415 с.
3. NetLogo Home Page. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> (Дата обращения 16.09.2013).
4. Владимирова М.П. Деньги, кредит, банки: учебное пособие / М.П. Владимирова, А.И. Козлов. – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2006. – 288 с.