



Математическое моделирование: методы, алгоритмы, технологии

УДК 004.94

О.М. Зверева, Д.Б. Берг

АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ КОММУНИКАЦИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА ЛЕОНТЬЕВА

О.М. Zvereva, D.B. Berg

ECONOMIC SYSTEM AGENT-BASED COMMUNICATION MODEL BASED ON LEONTYEV'S INTERSECTORAL BALANCE

Разработана агент-ориентированная компьютерная модель, реализующая коммуникации между агентами и основанная на уравнениях статического межотраслевого баланса Леонтьева. Коммуникации составляют базис функционирования социальных и экономических систем. С помощью этой модели на основе представления микропроцессов, действий отдельных агентов, можно исследовать состояния макропроцесса – поведения всей социально-экономической системы. В ходе испытаний модели получены интересные результаты о поведении экономической системы в условиях недостаточного количества денежных средств в системе и их дефицита.

МОДЕЛИРОВАНИЕ; АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ; КОММУНИКАЦИИ; МЕЖОТРАСЛЕВОЙ БАЛАНС ЛЕОНТЬЕВА; СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ NETLOGO; СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.

Agent-based computer model has been developed. This model realizes communications between different economic agents and is based on the Leontyev's static intersectoral balance. Communications appear to be the basis of economic and social systems. Starting with the set of modeled microprocesses (behavior of individual agents) we have an opportunity to observe the states of the macroprocess – the behavior of economic system in a whole. While experiments with the model valuable results were received. These results are connected with economic system behavior under the conditions of enough money funds and their lack.

MODELLING; AGENT-BASED MODEL; COMMUNICATIONS; LEONTYEV'S INTERSECTORAL BALANCE; NETLOGO MODELLING FRAMEWORK; STATISTICAL ANALYSIS.

Коммуникации составляют основу функционирования социальных и экономических систем [1]. В каждом коммуникационном акте агенты системы могут обмениваться информацией и смыслами [2], деньгами, услугами, продукцией материального производства, энергией и др.

Для моделирования взаимодействий между большим количеством агентов используется агент-ориентированный подход, результатом расчетов является реализация одного из возможных поведений системы.

Коммуникационные акты часто носят случайный характер, однако действия каждого из агентов, в них участвующих, обусловлены его потребностями в информации, продуктах и услугах.

Макроэкономически потребности отраслей (агентов) в продукции друг друга определяются межотраслевым балансом Леонтьева [3], а для декомпозиции отраслей до уровня предприятий можно использовать балансово-сетевую модель [4]. Однако перечисленные модели являются детерми-

нированными, в них отсутствует возможность исследования влияния условий актов коммуникации на функционирование всей системы.

Цель работы – создание агент-ориентированной модели, основанной на уравнениях межотраслевого баланса Леонтьева, ее компьютерная реализация и верификация. Результаты исследования представлены в данной статье.

Межотраслевой баланс Леонтьева

Наиболее известной макроэкономической балансовой моделью является модель межотраслевого баланса Леонтьева (модель «затраты–выпуск»), за которую автор в 1973 г. получил Нобелевскую премию по экономике [5]. Межотраслевой баланс (МОБ) [4] устанавливает условия обмена произведенной продукцией между смежными отраслями экономики, определяя для каждой отрасли ограничения на потребление сырья (продукции других отраслей) и задавая объем ее собственного выпуска.

Отрасли ($i = 1..n$) производят продукцию в объемах x_i , где \vec{X} ($\vec{X} = \|x_i\|$) – вектор выпуска экономической системы. Для обеспечения своего производства отрасли потребляют продукцию других (смежных) отраслей этой экономической системы в объемах w_{ki} , где w_{ki} – потребность i -й отрасли в продукции k -й отрасли. Для каждой i -й отрасли системы можно говорить о существовании вектора (\vec{W}_i) потребностей в продукции других отраслей.

Потребность i -й отрасли в продукции k -й отрасли (w_{ki}) прямо пропорциональна объему выпуска i -й отрасли (x_i) и определяется технологией производства этой отрасли. Коэффициент пропорциональности $a_{ki} = \frac{w_{ki}}{x_i}$ является безразмерным. Совокупность таких коэффициентов a_{ki} ($k = 1..n$, $i = 1..n$, при условии n отраслей в экономической системе) образует технологическую матрицу ($A = \|a_{ij}\|$). Элемент a_{ki} показывает, какое количество продукции k -го сектора требуется для производства единицы продукции i -го сектора.

Вектор потребностей i -й отрасли имеет вид:

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

В общем случае после обмена произведенной продукцией между отраслями в каждой отрасли остается некоторая часть своей продукции, расходуемая на непроемственное потребление (y_i). Вектор \vec{Y} ($\vec{Y} = \|y_i\|$) – вектор свободных остатков экономической системы.

Статический вариант МОБ Леонтьева определяется следующим уравнением:

$$\vec{X} - A\vec{X} = \vec{Y}. \quad (2)$$

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

Таким образом, статическая модель Леонтьева описывает обмен продукцией между отраслями экономической системы в процессе простого воспроизводства, при этом используются данные за один производственный цикл. В экономической системе процесс перераспределения произведенной продукции реализуется через коммуникации между отдельными экономическими агентами – представителями разных отраслей.

Общее количество агентов экономической системы может быть большим (сотни тысяч и более), и процесс обменов между ними не будет строго детерминированным. В условиях одного и того же макроэкономического межотраслевого баланса возможна реализация различных вариантов коммуникаций между агентами. Для исследования коммуникаций между большим количеством агентов целесообразно использовать агент-ориентированные модели (АОМ).

Имитационные агент-ориентированные модели

Имитационные модели получили широкое распространение с развитием компьютерной техники. В таких моделях вместо уравнений задаются правила взаимодействия (коммуникаций) элементов друг с другом, а процесс расчета заменяется процессом реализации на компьютере этих взаимодействий в течение некоторого времени. В имитационных компьютерных моделях для социальной и экономической сферы основными активными элементами

являются агенты (социальные или экономические), поэтому модели получили название *агент-ориентированных* (Agent-oriented/Agent-based models)[6–9].

Рассмотрим отдельного агента. Время для него изменяется дискретно, а закон изменения его состояния выражается общим для всех агентов набором правил, по которому любой агент на каждом шаге вычисляет свое новое состояние, исходя из своего текущего состояния и состояний других агентов системы. Управляющее правило перехода для i -го агента записывается в виде:

$$S_A^i(t+1) = F(S_A^i(t), \{S_A^j(t), \forall A_j \in A, j \neq i\}), \quad (3)$$

где $S_A^i(t)$ и $S_A^i(t+1)$ – два последовательных во времени состояния i -го агента, а $\{S_A^j(t), \forall A_j \in A, j \neq i\}$ – множество состояний остальных агентов системы в момент времени t . В модели коммуникаций состояние i -го агента в текущий момент времени зависит от его состояния в предыдущий момент времени и состояния того агента, с которым он вступил в коммуникацию.

Отличительной особенностью АОМ является то, что на основе микропроцессов (действий отдельных агентов) можно исследовать макропроцессы (поведение экономической системы в целом).

Таким образом, отдельные акты взаимодействий между агентами (коммуникации) формируют динамику системы в целом аналогично тому, как движение отдельных молекул и атомов определяет термодинамические свойства вещества.

АОМ коммуникаций

В настоящей работе АОМ коммуникаций реализует процессы обмена производственной продукцией между агентами экономической системы в условиях ограничений, определяемых МОБ. Каждая отрасль экономической системы может быть представлена в модели совокупностью агентов с разными производственными характеристиками.

Состояние i -го агента в соответствии с МОБ в момент времени t характеризуется имеющимся у него объемом выпуска ($pr_i(t)$); свободным остатком $ost_i(t)$; векто-

ром необеспеченных потребностей в ресурсах – продукции других агентов системы ($\overline{res}_i(t)$). С целью обеспечения обменов (коммуникаций) введена дополнительная денежная характеристика – состояние денежного счета агента ($mon_i(t)$).

Состояние i -го агента в момент времени t :

$$S_A^i(t) = (pr_i(t), ost_i(t), \overline{res}_i(t), mon_i(t)). \quad (4)$$

В начальный момент времени (при $t = 0$) состояния агентов определяются значениями, рассчитанными на основе МОБ: имеющийся товар равен объему выпуска (x_i), свободный остаток – расчетному свободному остатку (y_i), вектор необеспеченных потребностей в ресурсах – расчетному вектору \overline{W}_i :

$$pr_i(0) = x_i; \quad ost_i(0) = y_i; \quad \overline{res}_i(0) = \overline{W}_i. \quad (5)$$

Агенты в начальный момент времени авансируются, причем этот аванс в конце коммуникативного этапа списывается с их счетов. Аванс определяется коэффициентом обеспеченности деньгами (k_{mon}) и объемом произведенной продукции. Коэффициент обеспеченности деньгами может быть задан одинаковым для всех, а может быть разным для разных агентов.

Величина аванса, зачисляемого на счет агента, вычисляется по формуле:

$$D_i = x'_i \times k_{mon}, \quad (6)$$

где D_i – деньги, занесенные на счет i -го агента в качестве аванса; x'_i – объем товара, привезенный для обмена (объем выпуска за вычетом собственных производственных нужд); k_{mon} – коэффициент обеспеченности деньгами.

Согласно (4–6) состояние i -го агента в начальный момент времени ($t = 0$):

$$S_A^i(0) = (x_i, y_i, \overline{W}_i, D_i). \quad (7)$$

При выполнении условия баланса на конец моделирования ($t = t_k$) состояние i -го агента должно быть:

$$S_A^i(t_k) = (0, y_i, \vec{0}, 0). \quad (8)$$

Схема алгоритма функционирования модели показана на рис. 1.

Агенты вступают в коммуникации в процессе экономических обменов. Весь

обменный процесс состоит из отдельных циклов. В каждом цикле обмена каждому агенту, выбираемому случайным образом, предоставляется возможность однократно вступить в коммуникацию с другим агентом. Целью коммуникации является получение нужного ему ресурса в соответствии

с текущим состоянием вектора потребностей в ресурсах ($\overline{res}_i(t)$). Это возможно, если агент, инициировавший коммуникацию, находится в состоянии готовности к обмену, т. е. у него есть необеспеченные потребности и деньги на счету для оплаты:

$$S_A^i(t) = \begin{cases} \text{"готов"}, & \text{если } (\max(\overline{res}_i(t)) > 0) \text{ И } (mon_i(t) > 0) \\ \text{"не готов"}, & \text{иначе} \end{cases} \quad (9)$$

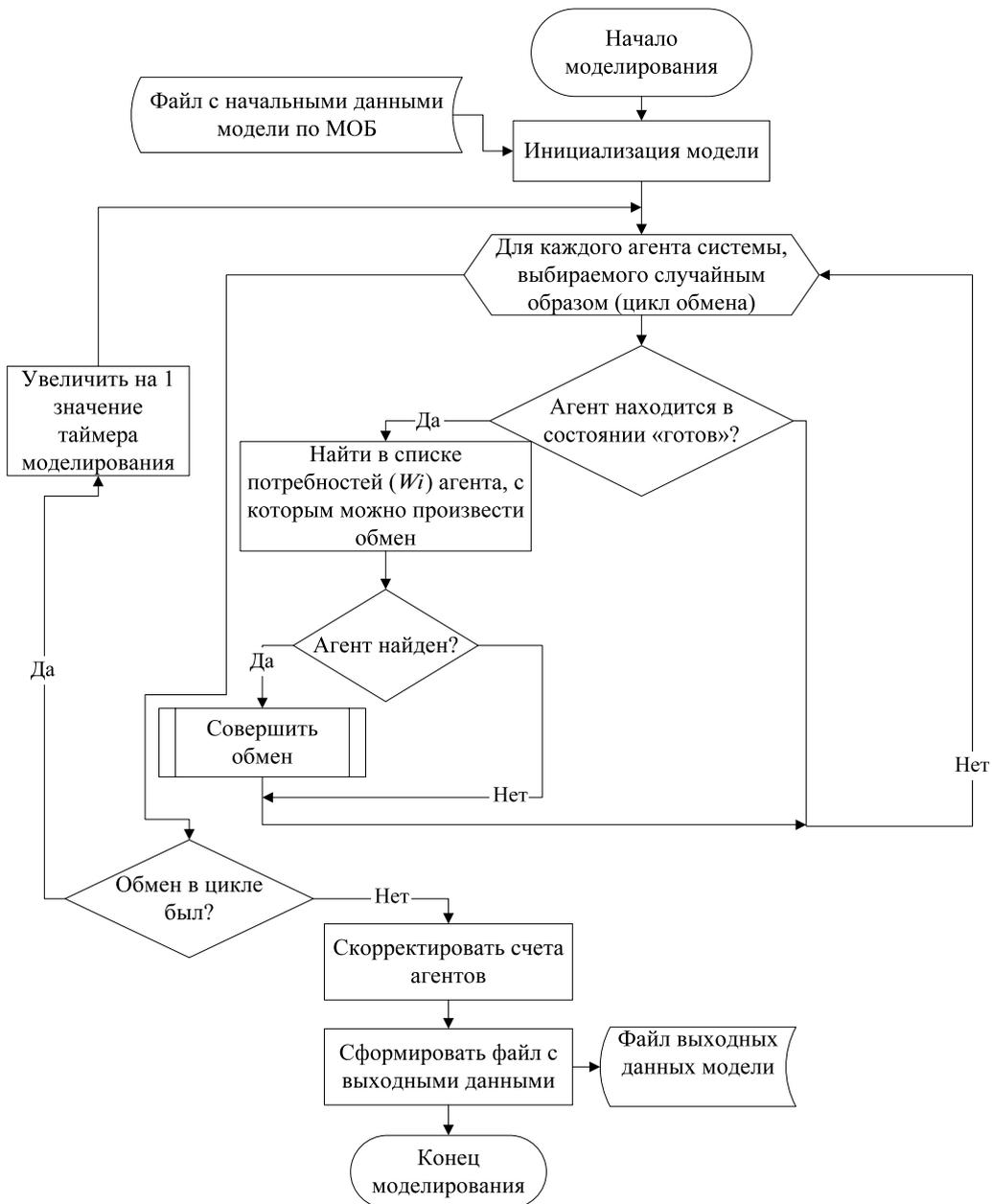


Рис. 1. Схема алгоритма работы модели

Если i -й агент «готов» к обмену, то последовательно по текущему списку потребностей ищется его коммуникант, т. е. тот агент, с кем обмен возможен. Такой агент-коммуникант должен удовлетворять следующим условиям: в его продукции должен нуждаться i -й агент, и у него должна быть в наличии эта продукция. Если агент-коммуникант найден (некоторый j -й агент), то коммуникация считается успешной, и осуществляется обмен в объеме, равном минимальному из трех значений: потребность i -го агента в продукции j -го агента ($res_{ji}(t)$), объем денег на счету i -го агента ($mon_i(t)$), объем продукции, имеющийся у j -го агента в наличии ($pr_j(t)$). Состояния агентов после участия в успешной коммуникации корректируются.

Циклы обмена повторяются до тех пор, пока осуществляются успешные коммуникации. Когда этап коммуникаций заканчивается, со счетов агентов списывается сумма, равная авансу.

По окончании коммуникационного этапа агенты переходят в конечные состояния, которые согласно МОБ должны соответствовать (8).

Применение агент-ориентированной технологии позволило не просто создать динамическую модель, а представить в ней основные этапы деятельности агентов — производство и потребление. Кроме того, это позволило ввести в качестве управляющего элемента деньги для изучения влияния имеющейся в системе денежной массы на поведение системы в целом.

Компьютерная реализация модели и ее верификация

Модель реализована в системе NetLogo на диалекте языка Logo [10]. Вид окна модели представлен на рис. 2. В окне расположено поле моделирования с фигурками агентов на нем, успешные акты коммуникации изображаются графически стрелками, соединяющими агентов. По нажатию кнопки «Старт» происходит инициализация модели, а по нажатию кнопки «Ярмарка» начинается коммуникационный этап. В ходе работы модели выводится ряд значений в панелях-мониторах, а также показываются

графики, отображающие определенные зависимости.

По нажатию кнопки «Производство» запускается производственный этап, но в данной статье он не обсуждается. Для записи результатов моделирования в файл на диске необходимо нажать кнопку «Стоп».

Верификация модели проводилась для семи агентов с одинаковой (в денежном выражении) потребностью в продукции друг друга (все элементы производственной матрицы одинаковые).

Для проведения экспериментов с моделью использованы следующие данные:

$$A = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$\bar{X} = [500, 500, 500, 500, 500, 500, 500], \quad (11)$$

$$\bar{Y} = [150, 150, 150, 150, 150, 150, 150], \quad (12)$$

$$\bar{W}_i = [50, 50, 50, 50, 50, 50, 50]. \quad (13)$$

Поскольку все агенты идентичны, рассмотрим динамику удовлетворения потребностей одного из агентов (например, седьмого) в продукции других агентов в процессе коммуникаций друг с другом.

В начале моделирования вектор необеспеченных потребностей в ресурсах у седьмого агента ($res_7(0)$) равен вектору расчетных потребностей (\bar{W}_7):

$$\overline{res}_7(0) = \bar{W}_7 = [50, 50, 50, 50, 50, 50, 50]. \quad (14)$$

В конце моделирования при соблюдении МОБ агент должен обеспечить себя ресурсами в нужном количестве, и вектор потребностей в ресурсах должен стать нулевым:

$$\overline{res}_7(t) = \bar{0}. \quad (15)$$

В табл. 1 приведены результаты моделирования для седьмого агента при условии, что коэффициент обеспеченности деньгами равен 0,4. В ячейках таблицы показаны результаты обменов с другими агентами

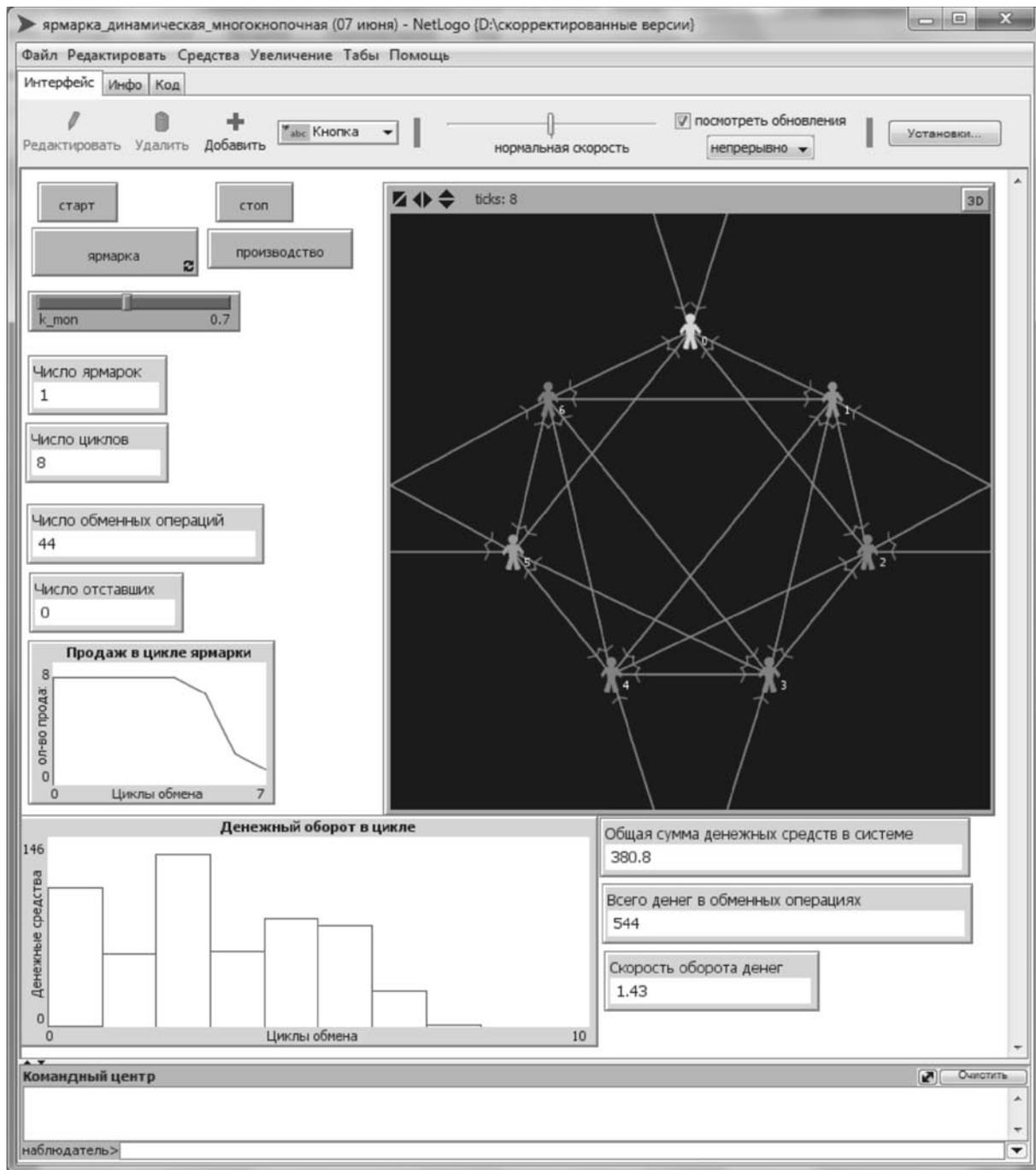


Рис. 2. Вид окна модели

системы (в первом цикле обмена седьмой агент закупил у первого агента продукции на 50 у. е., во втором – у второго – на 50 у. е., в третьем цикле – у третьего агента на сумму 20 у. е., и т. д.). В таблице не показан обмен с седьмым агентом, т. к. свой товар агент сразу оставляет на складе и необходи-

мости в коммуникациях нет.

Из табл. 1 видно, что агент за время коммуникационного этапа удовлетворил свои потребности в ресурсах – результирующий вектор потребностей нулевой (что согласуется с (15)). Таким образом, условие МОБ в разработанной модели соблюдается.

Таблица 1

Динамика удовлетворения потребностей в продукции для одного агента при $k_{мон} = 0,4$

Агент-продавец (i)	Потребность в продукции, у. е. $res_7^i(0)$	В цикле обмена получено агентом, у. е.									Остаточная потребность, у. е. $res_7^i(t_k)$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	50	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0
3	50	0	0	20	0	0	30	0	0	0	0
4	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0
5	50	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
6	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0

Влияние денежной массы на коммуникационную способность агента

Для исследования влияния денежной массы на коммуникационную способность агента проведена серия из 200 экспериментов на тех же (10–13) исходных данных. При изменении коэффициента обеспеченности деньгами $k_{мон}$ от 0,1 до 1,0 измерялись следующие параметры:

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

длительность всего коммуникационного этапа, выраженная в числе циклов обмена, необходимых для полного удовлетворения

потребностей всех агентов в продукции друг друга, N.

На основании полученных данных были рассчитаны статистические характеристики объема денежных средств, использованных в циклах обмена, такие, как среднее значение, значения медианы и моды, значения дисперсии и среднеквадратичного отклонения, которые приведены в табл. 2.

Результаты расчетов показали следующее.

1. Количество циклов обмена, необходимых для удовлетворения потребностей всех агентов в продукции друг друга, монотонно снижается с увеличением обще-

Таблица 2

Статистические характеристики объема денежных средств, использованных для расчетов между агентами в цикле обмена

Тип поведения	$k_{мон}$	Всего денег в системе, у. е.	Среднее значение, у. е.	Среднеквадратическое отклонение, у. е.	Коэффициент вариации	Медиана, у. е.	Мода, у. е.
1	0,10	210	128,57	55,06	42,83	130,00	100,00
	0,20	420	197,77	84,54	42,75	190,00	190,00
	0,30	630	204,88	88,15	43,03	200,00	200,00
2	0,40	840	221,95	103,36	46,57	230,00	350,00
	0,50	1050	257,14	113,62	44,19	300,00	350,00
	0,60	1260	258,46	109,99	42,55	310,00	350,00
	0,70	1470	291,01	107,86	37,07	350,00	350,00
	0,80	1680	295,44	105,09	35,57	350,00	350,00
3	0,90	1890	345,78	35,10	10,15	350,00	350,00
	1,00	2100	350,00	0,00	0,00	350,00	350,00

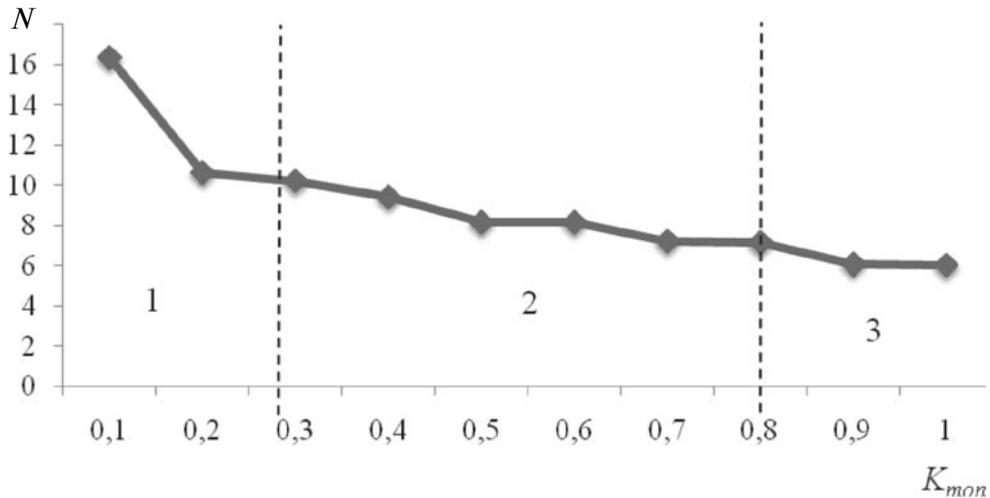


Рис. 3. График зависимости числа циклов обмена N на коммуникационном этапе от коэффициента обеспеченности деньгами k_{mon}

го количества денежной массы в системе (рис. 3), достигая минимально возможного значения (согласно правилам обмена в данной модели) — шесть циклов — при значениях $k_{mon} \geq 0,9$. Полученная зависимость согласуется с известным экономическим правилом, утверждающим, что для обеспечения поддержания экономики в устойчивом состоянии количество денег в обороте должно быть примерно равным объему ВВП страны (это правило соблюдается в таких развитых странах, как США, Герма-

ния и др.).

2. Статистические характеристики количества денег, использованных в каждом цикле обмена (см. табл. 2, рис. 4), позволили выделить три типа динамического поведения системы: 1 — стабильно медленный; 2 — нестабильный; 3 — стабильно быстрый.

Первый тип поведения (при $0,1 \leq k_{mon} \leq 0,3$). Среднее значение объема денежных средств, использованных в каждом цикле, значение моды и медианы близ-

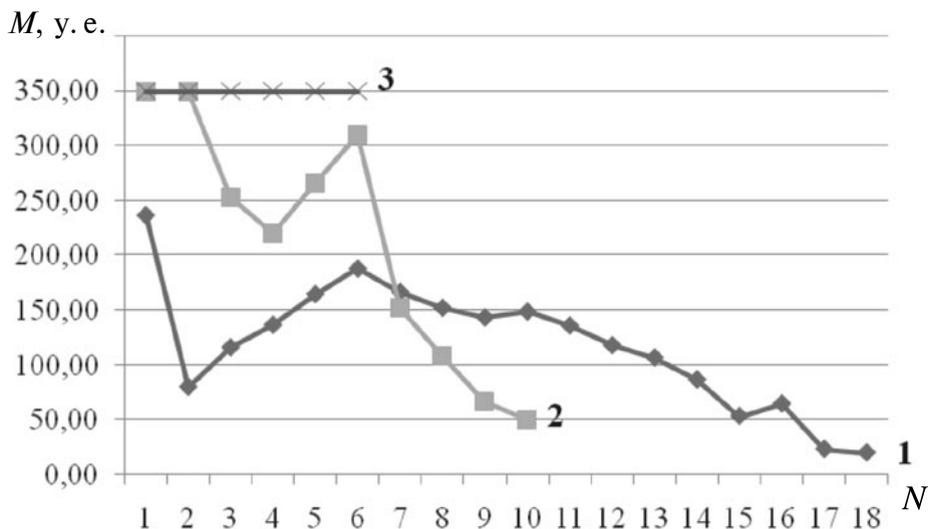


Рис. 4. График зависимости использованных денежных средств от цикла обмена (—◆—) коэффициент 0,1; (—■—) коэффициент 0,4; (—×—) коэффициент 1,0

ки. Среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации растут с возрастанием k_{mon} . Денежные средства по циклам обмена распределены достаточно равномерно (при $k_{mon} = 0,2$ составляют примерно 190 у. е. за цикл). Длительность коммуникационного этапа при таком поведении самая большая.

Второй тип поведения (при $0,4 \leq k_{mon} \leq 0,8$). Денежные средства по циклам обмена распределены крайне неравномерно, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации достигают максимальных значений (особенно при $k_{mon} = 0,4; 0,5$). При $k_{mon} = 0,4$ среднее значение использованных денежных средств в цикле обмена равно 221,95 у. е., а наиболее часто встречающееся значение (значение моды) равно 350 у. е.

Третий тип поведения (при $k_{mon} > 0,8$). Среднее значение объема денежных средств, использованных в каждом цикле, значение моды и медианы практически равны. Среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации минимальны (при $k_{mon} = 1$ они равны нулю). Денежные средства по циклам обмена распределены равномерно, коммуникационный этап минимально возможный по длительности. Наиболее устойчивым является вариант функционирования системы при $k_{mon} = 1$: обмены успешно заканчиваются за шесть циклов, в каждом из которых каждый из семи агентов закупает нужное количество товаров у других шести агентов, каждый раз в цикле задействовано 350 у. е.

В настоящей статье предложена агент-ориентированная модель, имеющая макро-

экономические ограничения, определенные межотраслевым балансом Леонтьева. В отличие от традиционной модели Леонтьева в ней реализуются коммуникации между отдельными агентами. Имитация автономных агентов позволяет изучать динамику процесса. С другой стороны, использование в имитационной модели балансовых ограничений делает эту модель более реалистичной с экономической точки зрения.

В рамках данной модели изучено влияние объема денежной массы на структуру и продолжительность обменов между агентами на этапе коммуникаций. Эксперименты проведены для однородной технологической матрицы. Выявлено три типа поведения системы: длительный и достаточно равномерный обмен (количество денежных средств меньше 30 % стоимости товарной массы), нестабильный обмен (обеспеченность деньгами по отношению к товарной массе 40–80 %), быстрый стабильный обмен (количество денег в системе более 80 % стоимости товаров). Нестабильность системы проявляется в значительном разбросе значений объема денежных средств, используемых в цикле обмена (разброс до 50 %). Следствием этого является фактическое недоиспользование денежных средств, которых и так недостаточно в системе.

Работа выполнена в рамках проекта ориентированных фундаментальных исследований, выполняемых в рамках соглашений о сотрудничестве УрО РАН с государственными корпорациями, научно-производственными объединениями, а также в рамках реализации крупных региональных, федеральных и международных проектов № 13-27-008СГ, 2013 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луман Н. Социальные системы. Очерк общей теории. – Пер. с нем. – СПб.: Наука, 2007. – 668 с.
2. Попков В.В. Экономический конструктивизм. – М.: Книга по требованию, 2013. – 180 с.
3. Леонтьев В.В. Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. – Пер. с англ. – М.: Политиздат, 1990. – 415 с.
4. Ульянова Е.А. Балансово-сетевая модель аутопоэтических систем в экономике // Известия УрГЭУ. – 2011. – № 5. – С. 105–110.
5. Нобелевская премия по экономике 1973 [электронный ресурс] / URL: <http://www.nobeliat.ru/laureat.php?id=421> (дата обращения 16.08.2013).
6. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. – М.: Экономика, 2008. – 279 с.
7. Home Page: Leigh Testfation. Agent-Based Computational Economics [электронный ресурс] / URL: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/> (дата обращения 23.07.2013).
8. Bandini Stefania, Manzoni Sara, Vizzari Giuseppe. Agent Based Modeling and Simulation:

An Informatics Perspective // J. of Artificial Societies and Social Simulation. 12(4). 4 [электронный ресурс] / URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/4.html> (дата обращения 14.07.2013).

9. **Macall C.M., North M.J.** Tutorial on agent-based modelling and simulation // Proc. of the 2005 Winter Simulation Conf. [электронный ресурс] /

URL: <http://eil.stanford.edu/pengao/Papers/Tutorial%20on%20agent-based%20modeling%20and%20simulation.pdf> (дата обращения 22.07.2013).

10. NetLogo Home Page [электронный ресурс] / URL: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> (дата обращения 16.07.2013).

REFERENCES

1. **Luman N.** Sotsial'nye sistemy. Ocherk obshchei teorii. Per. s nem. – St.-Petersburg: Nauka, 2007. – 668 s. (rus)

2. **Popkov V.V.** Ekonomicheskii konstruktivizm. – Moscow: Kniga po trebovaniu, 2013. – 180 s. (rus)

3. **Leont'ev V.V.** Ekonomicheskie esse. Teorii, issledovaniia, fakty i politika: Per. s angl. – Moscow: Politizdat, 1990. – 415 s. (rus)

4. **Ul'ianova E.A.** Balansovo-setevaia model' autopoecheskikh sistem v ekonomike / Izvestiia UrGEU. –2011. – № 5. – S. 105-110. (rus)

5. Nobelevskaia premiia po ekonomike 1973. Available <http://www.nobeliat.ru/laureat.php?id=421> (Accessed 16.08.2013).

6. **Bakhtizin A.R.** Agent-orientirovannye modeli ekonomiki. – Moscow: Ekonomika, 2008. – 279 s.

7. Home Page: Leigh Testfason. Agent-Based Computational Economics. Available: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/> (Accessed 23.07.2013)

8. **Bandini Stefania, Manzoni Sara, Vizzari Giuseppe.** Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective /J. of Artificial Societies and Social Simulation. 12(4). 4. Available <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/4.html> (Accessed 14.07.2013).

9. **Macall C.M., North M.J.** Tutorial on agent-based modelling and simulation / Proc. of the 2005 Winter Simulation Conf. Available: <http://eil.stanford.edu/pengao/Papers/Tutorial%20on%20agent-based%20modeling%20and%20simulation.pdf> (Accessed 22.07.2013).

10. NetLogo Home Page. Available <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> (Accessed 16.07.2013).

ЗВЕРЕВА Ольга Михайловна – старший преподаватель кафедры информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

E-mail: OM-Zvereva2008@yandex.ru

ZVEREVA, Olga M. Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin.

620002, Mira Str. 19, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: OM-Zvereva2008@yandex.ru

БЕРГ Дмитрий Борисович – профессор кафедры анализа систем и принятия решений Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, главный научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, заместитель директора по научной работе Института Александра Богданова, доктор физико-математических наук.

620219, Россия, г. Екатеринбург, ГСП-594, ул. Софьи Ковалевской, д. 20а.

E-mail: bergd@mail.ru

BERG, Dmitry B. Institute of Industrial Ecology.

620219, S. Kovalevskaya Str. 20-A, GSP-594, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: bergd@mail.ru