

# Модель прозрачной рыночной экономики<sup>1</sup>

Редько В.Г., Сохова З.Б.

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва

Построена многоагентная модель прозрачной рыночной экономики, и приводятся результаты компьютерного эксперимента. Модель основана на подходе работ [1,2], в которых использовались легкие агенты-посланники (аналоги искусственных муравьев) для оптимизации работы производственного цеха и движения автомобилей в городе. В настоящей работе легкие агенты (агенты-разведчики и агенты намерений) используются для оптимизации функционирования сообщества инвесторов и производителей.

## 1. Описание модели

В работе рассматривается экономическое сообщество, состоящее из инвесторов и производителей, экономические характеристики которых открыты для всего сообщества. То есть инвесторы и производители предоставляют всему сообществу информацию о собственном текущем капитале и получаемой прибыли.

Сообщество состоит из  $N$  инвесторов и  $M$  производителей, каждый из которых имеет определенный капитал  $K_{inv}$  и  $K_{pro}$ . Время  $t$  дискретно. Имеются периоды функционирования сообщества инвесторов и производителей. Например, каждый период  $T$  может быть равен одному году;  $T$  – номер периода.

В начале каждого периода  $T$  отдельный инвестор делает вклад в  $m$  производителей. В конце периода производитель возвращает каждому инвестору капитал, вложенный инвестором, а также распределяет часть полученной им прибыли между инвесторами пропорционально их вкладам.

В конце периода  $T$  каждый инвестор принимает решение: какой капитал вложить в того или иного производителя в следующий период  $T+1$ . Для принятия решения организуется описанный ниже итеративный процесс.

Если капитал инвестора или производителя стал меньше определенного малого порога  $Th_{min\_inv}$  или  $Th_{min\_pro}$ , то инвестор или производитель прекращает свою деятельность. Если же капитал инвестора или производителя стал больше высокого порога  $Th_{max\_inv}$  или  $Th_{max\_pro}$ , то такой инвестор или производитель порождает «потомка», при этом «родитель» отдает потомку половину своего капитала.

**Функционирование производителей и инвесторов.** Считаем, что перед началом периода  $T$   $i$ -й производитель имеет собственный исходный капитал  $C_{i0}$ . Будем полагать, что производитель вкладывает в производство весь имеющийся у него к началу периода капитал  $C_i$ , включающий в себя вклады инвесторов:

$$C_i = C_{i0} + \sum_{j=1}^N C_{ij} \quad (1)$$

где  $C_{ij}$  – капитал, вложенный  $j$ -м инвестором в  $i$ -го производителя в начале периода. Считаем, что зависимость прибыли производителя от его текущего капитала нелинейная  $Pr_i(C_i)$ : прибыль мала при малом капитале  $C_i$  и достигает насыщения или очень медленно возрастает при большом  $C_i$ :  $Pr_i(C_i) = k_i F(C_i)$ , где функция  $F$  одинакова для всех производителей, а коэффициент  $k_i$  характеризует эффективность производства  $i$ -го производителя. Величины  $k_i$  в конце каждого периода случайно варьируются. При

компьютерном моделировании считалось, что функция  $F(x)$  имеет вид  $F(x) = \frac{x^2}{x^2 + a^2}$ .

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 13-01-00399.

В конце периода  $T$  производитель возвращает инвесторам вложенный ими капитал и выплачивает инвесторам часть полученной им прибыли. Причем  $j$ -му инвестору отдается часть прибыли, пропорциональная сделанному им вкладу в данного производителя:

$$Pr_{ij} = k_{\text{выпл}} Pr_i(C_i) \frac{C_{ij}}{\sum_{l=1}^N C_{il}}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – текущий капитал (в начале периода)  $i$ -го производителя,  $k_{\text{выпл}}$  – параметр, характеризующий долю выплат прибыли инвесторам,  $0 < k_{\text{выпл}} < 1$ . Сам производитель получит остальную часть своей прибыли  $Pr_i$ , равную:

$$Pr_i = (1 - k_{\text{выпл}}) Pr_i(C_i). \quad (3)$$

**Схема итеративного процесса принятия решения инвесторами.** Итеративный процесс, в течение которого определяются вклады инвесторов в производителей, состоит в следующем.

На первой итерации инвесторы рассылают агентов-разведчиков по всем производителям и определяют, какой капитал имеется у каждого производителя в данный момент времени. Причем на первой итерации не учитываются вклады других инвесторов в производителей.  $j$ -й инвестор оценивает величину  $A_{ij}$ , характеризующую прибыль  $P_{ij}$ , ожидаемую от  $i$ -го производителя в течение следующего  $T+1$ -го периода. Величина  $A_{ij}$  равна:

$$A_{ij} = k_{\text{dist}} Pr_{ij} = k_{\text{dist}} k_{\text{выпл}} k_i F(C'_{i0}) \frac{C_{ij}}{\sum_{l=1}^N C_{il}}, \quad (4)$$

где  $C_{il}$  – капитал, вложенный  $l$ -м инвестором в  $i$ -го производителя,  $C'_{i0}$  – предполагаемый исходный капитал  $i$ -го производителя в начале следующего периода (пока без учета вкладов инвесторов),  $k_{\text{dist}} = k_+$  либо  $k_-$ ,  $k_+ > k_-$ . Положительные параметры  $k_+$ ,  $k_-$  определяют степень доверия инвестора производителю, т.е. полагается, что степень доверия инвестора к проверенному и непроверенному производителю равна  $k_+$  и  $k_-$ , соответственно. Эти параметры учитывают то, что инвестор предпочитает проверенных им производителей. При моделировании полагалось  $k_+ = 1$ ,  $k_- = 0.5$ .

Затем инвестор ранжирует всех производителей в соответствии с величинами  $A_{ij}$  и выбирает  $m$  наиболее выгодных производителей, т.е. тех производителей, которым соответствуют большие величины  $A_{ij}$ . Далее  $j$ -й инвестор формирует намерение распределить весь свой капитал  $K_{\text{inv } j}$  по всем выбранным производителям, пропорционально полученным оценкам  $A_{ij}$  (для невыбранных производителей формально полагалось  $A_{ij} = 0$ ). А именно, намечается, что вклад  $j$ -го инвестора в  $i$ -го производителя  $C_{ij}$  будет равен:

$$C_{ij} = K_{\text{inv } j} \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^M A_{ij}}. \quad (5)$$

На второй итерации каждый инвестор с помощью агентов намерений оповещает тех производителей, которых он выбрал для инвестиций, о величине капитала, который он намеревается вложить в каждого из производителей.

На основе этих данных производители оценивают свой новый исходный капитал  $C'_{i0}$ , который они ожидают после получения капитала от всех инвесторов, т.е. у производителя

формируется оценка суммы  $\sum_{l=1}^N C_{il}$  и новая оценка своего капитала в соответствии с выражением (1).

Затем инвесторы снова высылают агентов-разведчиков всем производителям и оценивают новый капитал производителей  $C'_{i0}$  с учетом намерений других инвесторов. Делаются оценки величин  $A_{ij}$  согласно выражению (4). Далее производители ранжируются, и капитал инвестора снова предварительно распределяется пропорционально новым полученным оценкам  $A_{ij}$ . Инвесторы снова рассылают агентов намерений, для того чтобы сообщить производителям намеченные величины вкладов.

Делается достаточно большое число таких итераций, после чего итерации заканчиваются, и инвестор принимает окончательное решение, какие вложения сделать на следующий период  $T+1$ . Окончательные вклады равны величинам  $C_{ij}$ , полученным инвесторами на последней итерации.

В конце каждого периода  $T$  капиталы производителей пересчитываются с учетом амортизации (например, это может быть, амортизация оборудования производителя)  $K_{pro}(T+1) = k_{amr}K_{pro}(T)$ , где  $k_{amr}$  – коэффициент амортизации ( $0 < k_{amr} \leq 1$ ). Аналогично учитываются расходы инвесторов (для удобства соответствующие величины будем называть коэффициентами инфляции) и пересчитывается капитал инвесторов  $K_{inv}(T+1) = k_{inf} K_{inv}(T)$ , где  $k_{inf}$  – коэффициент инфляции ( $0 < k_{inf} \leq 1$ ).

## 2. Результаты компьютерного моделирования

Описанная выше модель была реализована в виде компьютерной программы. Использовались следующие параметры расчетов: количество итераций  $k_{iter} = 20$ ; пороги  $Th_{max\ pro} = 1$ ,  $Th_{max\ inv} = 1$ ,  $Th_{min\ pro} = 0.01$ ,  $Th_{min\ inv} = 0.01$ ; максимальное количество производителей и инвесторов  $N_{pro\ max} = 100$ ,  $N_{inv\ max} = 100$ ; начальное количество производителей и инвесторов  $N_{pro\ initial} = 50$ ,  $N_{inv\ initial} = 50$ ;  $m = 100$ ;  $k_{выпл} = 0.3$ ; характерная величина случайной вариации коэффициентов  $k_i$ , определяющих эффективность  $i$ -го производителя, равна  $\Delta k = 0.5$ ; параметр функции  $F(x)$ , определяющей величину прибыли, был равен  $a = 1$  или  $a = 10$ .

Величины  $k_i$ , характеризующие эффективность производителей, исходно (в начале расчета) были случайными, равномерно распределенными в интервале  $[0, 1]$ .

Начальные капиталы инвесторов и производителей исходно были случайными, они были равномерно распределены в интервале  $[0, 1]$ .

Предварительно была проверена зависимость конечного суммарного капитала производителей для типичных расчетов от числа итераций в каждом периоде. Было показано, что итеративный процесс сходится в течение 10-20 итераций. С учетом этого полагалось, что число итераций равно 20.

**Основной расчет.** Приведем результаты для расчета, в котором нет амортизации и инфляции:  $k_{amr} = 1$ ,  $k_{inf} = 1$  (рис. 1).

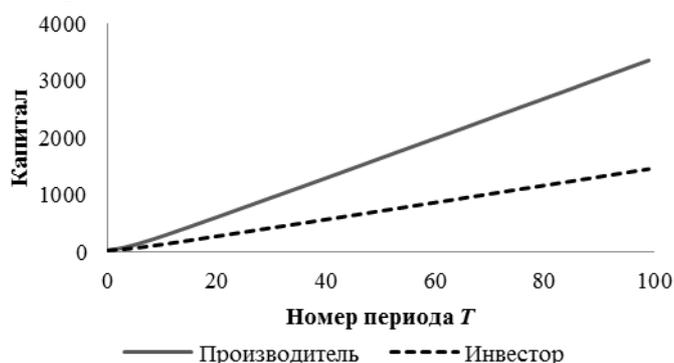


Рис. 1. Зависимость капитала инвесторов и производителей от времени (номера периода). Идеальная экономическая среда:  $k_{amr} = 1$ ,  $k_{inf} = 1$

Видно, что суммарный капитал инвесторов и производителей со временем растет.

**Влияние амортизации капитала производителей и инфляции на моделируемые процессы.** При умеренной амортизации и инфляции суммарный капитал производителей и инвесторов становится постоянным (рис. 2).

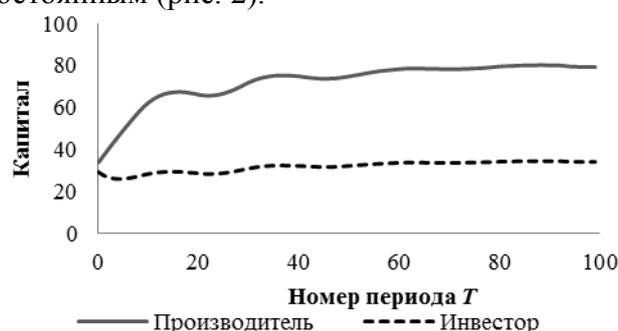


Рис. 2. Зависимость капитала инвесторов и производителей от времени. Умеренная инфляция и амортизация,  $k_{amr} = 0.8$ ,  $k_{inf} = 0.8$

При высокой инфляции или амортизации капитал производителей и инвесторов уменьшается, и они погибают (рис. 3).

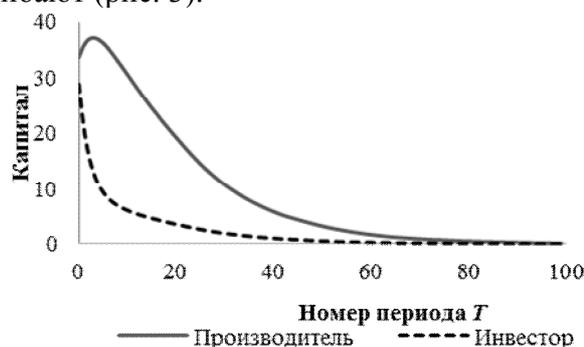


Рис. 3. Зависимость капитала инвесторов и производителей от времени,  $k_{amr} = 0.8$ ,  $k_{inf} = 0.6$

Таким образом, построена многоагентная модель прозрачной экономики. Продемонстрирована работоспособность модели и получены первые результаты компьютерных экспериментов. Построенная модель может служить опорной моделью широкого класса близких экономических процессов.

Авторы благодарны О.В. Редько за помощь в проведении компьютерных расчетов.

### Литература

1. Holvoet T., Valckenaers P. Exploiting the environment for coordinating agent intentions // Environments for Multi-Agent Systems III, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin et al.: Springer. Vol. 4389, 2007. P. 51-66.
2. Claes R., Holvoet T., Weyns D. A decentralized approach for anticipatory vehicle routing using delegate multiagent systems // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011. Vol. 12. P. 364-373.