

МНОГОАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ЧЕСТНОЙ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ*

Редько В.Г. д.ф.-м.н.

e-mail: vgrepko@gmail.com

Сохова З.Б.

e-mail: zarema_s@mail.ru

*Научно-исследовательский институт системных исследований
РАН, Москва*

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе предлагается многоагентная модель честной рыночной экономики и приводятся начальные результаты компьютерного исследования модели. Предлагаемый метод основан на подходе работ [1,2], в которых использовались легкие агенты-посланники (аналоги искусственных муравьев, «artificial ants») для оптимизации работы производственного цеха и маршрутизации движения автомобилей в городе. Краткое начальное описание нашей модели содержится в работе [3].

В данной работе легкие агенты (агенты-разведчики и агенты намерений) используются для оптимизации функционирования сообщества инвесторов и производителей.

Основные положения модели состоят в следующем. Имеется сообщество, состоящее из N инвесторов и M производителей, каждый из которых имеет определенный капитал K_{inv} и K_{pro} . Инвесторы и производители функционируют в среде *прозрачной экономики*, т.е. предоставляют всему сообществу информацию о своих текущем капитале и прибыли. Время t дискретно. Имеются периоды функционирования сообщества инвесторов и производителей. Например, каждый период может быть равен одному году.

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

* Работа поддержана программой Президиума РАН № 15, проект 2.10

Перед началом периода, т.е. в конце текущего периода каждый инвестор принимает решение: какой капитал вложить в того или иного производителя в следующий период T . Это происходит следующим образом. Организуется итеративный процесс, на каждой итерации инвесторы рассылают легких агентов-разведчиков, которые определяют, какой капитал имеется у каждого производителя. На основании данных о капитале производителя инвестор определяет, какую прибыль можно будет получить в конце следующего периода от этого производителя. После сделанной оценки ожидаемых прибылей инвестор выбирает m производителей, от которых можно получить наибольшую прибыль. После этого инвесторы рассылают агентов намерений производителям с указанием того капитала, который они намереваются вложить в того или иного производителя. После этого производители оценивают тот капитал, который у них получится после вклада инвесторов, и ту прибыль, которая у них получится в конце следующего периода. Далее происходит переход к следующей итерации и вновь инвесторы рассылают агентов-разведчиков, которые определяют, какой капитал будет у производителей уже с учетом намеченных предварительно вкладов инвесторов, и какую прибыль можно будет получить в конце периода от производителей. Затем инвесторы снова выбирают наиболее выгодных производителей с учетом намеченных на первой итерации вкладов в производителей. Потом снова рассылаются агенты намерений и производители переоценивают свой капитал и ожидаемую прибыль. Такой итеративный процесс продолжается в течение достаточного большого числа итераций. После чего инвесторы принимают окончательное решение о вкладах в производителей в следующий период. Эти вклады равны намеченным инвесторами вкладам на последней итерации.

Если капитал инвестора или производителя стал меньше определенного малого порога Th_{min_inv} или Th_{min_pr} , то инвестор или производитель прекращает свою деятельность. Если же капитал инвестора или производителя стал больше высокого порога Th_{max_inv} или Th_{max_pr} , то такой инвестор или производитель порождает потомка, при этом «родитель» отдает потомку половину своего капитала.

Цель настоящей работы – продемонстрировать работоспособность предлагаемой модели.

2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Считаем, что перед началом периода T i -й производитель имеет собственный исходный капитал C_{i0} . Дополнительно он имеет вклады в

капитал от инвесторов. Будем полагать, что производитель вкладывает в производство весь имеющийся у него к началу периода капитал C_i :

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

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. При компьютерном моделировании считалось, что функция $F(x)$ имеет вид $F(x) = \frac{x^a}{x^2 + a^2}$, где a – положительный параметр. Величины k_i в конце каждого периода случайно варьировались.

В конце периода T производитель возвращает инвесторам вложенный ими капитал. Кроме того, производитель 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:

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

Изложим детальнее схему моделируемого итеративного процесса, во время которого определяются вклады инвесторов в производителей.

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. Далее инвесторы оценивают величины A_{ij} , характеризующие прибыль, ожидаемую от i -го производителя в течение нового периода T . Эти величины A_{ij} равны:

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

где C_{il} – капитал, вложенный l -м инвестором в i -го производителя, C'_{i0} – оценка исходного капитала i -го производителя, имеющегося у данного производителя капиталу к началу следующего периода (пока без учета вкладов инвесторов), $k_{dist} = k_+$ 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 $k_- = 0.5$, $k_+ = 1$.

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 $K_{inv j}$ по всем выбранным производителям пропорционально полученным оценкам A_{ij} . А именно, намечается, что вклад j -й инвестора в i -го C_{ij} производителя будет равен:

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

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 прибыли, согласно выражению (4), в котором уже учитывается сумма вкладов

всех инвесторов $\sum_{i=1}^N C_{ij}$. Далее производители ранжируются, и капитал инвестора 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 . 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 ($0 < k_{inf} \leq 1$).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Параметры моделирования. Описанная выше модель была реализована в виде компьютерной программы, и был проведен начальный этап моделирования. Использовались следующие параметры расчетов:

- общее число периодов в рассматриваемых процессах: $N_T = 100$,
- число итераций в каждом периоде: $k_{iter} = 20$,
- максимальные пороги капиталов производителей и инвесторов (превышение этих порогов приводило к делению производителя или инвестора): $Th_{max_pro} = 1$, $Th_{max_inv} = 1$,
- минимальные пороги капиталов производителей и инвесторов; если капитал становился ниже этих порогов, то соответствующий производитель или инвестор погибал: $Th_{min_pro} = 0.01$, $Th_{min_inv} = 0.01$,
- максимальное число производителей и инвесторов: $N_{pro_max} = 100$, $N_{inv_max} = 100$,
- начальное количество производителей и инвесторов: $N_{pro_initial} = 50$, $N_{inv_initial} = 50$,
- максимальное число производителей m , в которое мог вкладывать капитал инвестор; обычно полагалось $m = 100$,

- доля выплат из полученной производителями прибыли инвесторам, обычно полагалось $k_{\text{выпл}} = 0.3$,
- характерная величина случайной вариации коэффициентов k_i , определяющих эффективность i -го производителя: $\Delta k = 0.5$,
- параметр функции $F(x)$, определяющей величину прибыли; обычно полагалось $a = 1$.

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

Изложим результаты моделирования. Начнем с важного вопроса модели: сходится ли итеративный процесс, в котором могут постоянно меняться вклады инвесторов в разных производителей? То есть проверим сходимость итеративного процесса. Затем представим зависимость капитала инвесторов и производителей от номера периода для основного компьютерного расчета. После чего, отталкиваясь от основного расчета, представим влияние различных факторов на исследуемые процессы. Так как при расчетах использовались случайные процессы, для получения надежных данных всюду проводилось усреднение по 100 различным расчетам.

Проверка сходимости итеративного процесса. Была проверена зависимость конечного суммарного капитала производителей для типичного расчета в зависимости от числа итераций в каждом периоде. Результаты для основного значения $a = 1$ (параметра функции $F(x)$) представлены на рис. 1.

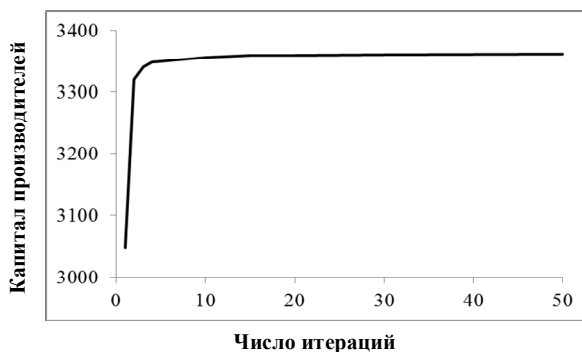


Рис. 1. Сходимость итеративного процесса ($k_{\text{амр}} = 1, k_{\text{инф}} = 1$)

Видно, что итеративный процесс сходится в течение 10-20 итераций. Был также проведен аналогичный расчет для параметра $a = 10$, сходимость итеративного процесса за 10-20 итераций была подтверждена и в этом случае. С учетом проверки сходимости итерационного процесса при расчетах 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. 2). Видно, что суммарный капитал производителей и инвесторов со временем растет.

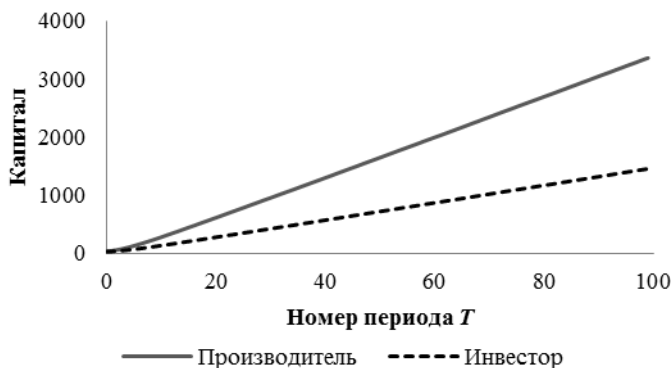


Рис. 2. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от времени (номера периода). Идеальная экономическая среда: $k_{amr} = 1$, $k_{inf} = 1$

Влияние амортизации капитала производителей и инфляции на моделируемые процессы. При умеренной амортизации и инфляции суммарный капитал производителей и инвесторов становится постоянным (рис. 3).

При высокой инфляции или амортизации капитал производителей и инвесторов уменьшается, и они погибают (рис. 4).

Влияние других факторов. Кроме приведенных результатов путем численных расчетов были еще проанализированы следующие аспекты рассматриваемых процессов.

Был проведен анализ влияния числа производителей m , в которых вкладывают капитал инвесторы, на моделируемые процессы. Например, полагалось $m = 10$ и $m = 30$. Сравнение этих расчетов

показало, что инвесторам выгодно делать вклады в большее количество производителей, так как при больших величинах m капитал инвесторов значительно возрос. При этом капитал производителей при изменении m менялся незначительно.

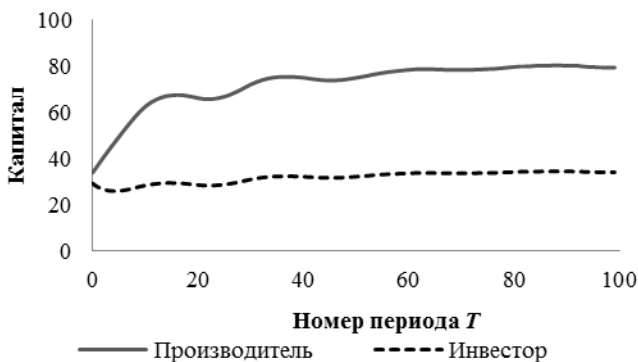


Рис. 3. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от времени. Умеренная инфляция и амортизация, $k_{amr} = 0.8, k_{inf} = 0.8$

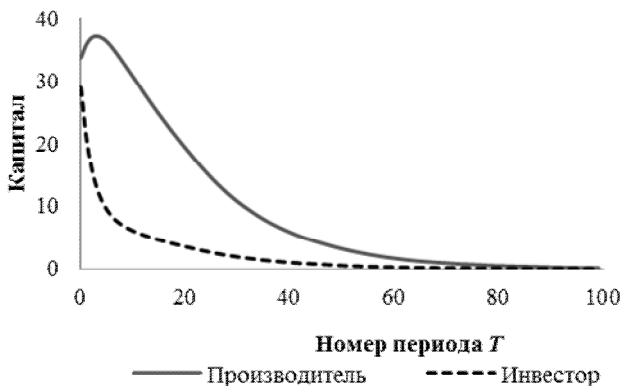


Рис. 4. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от времени, $k_{amr} = 0.8, k_{inf} = 0.6$

Было проанализировано влияние распределения полученного капитала между производителями и инвесторами, т.е. варьировался параметр $k_{выпл}$. Например, сравнивались расчеты для $k_{выпл} = 0.1$ и $k_{выпл} =$

0.7. Анализ результатов расчета показал, что когда доля выплат прибыли инвесторам мала, их суммарный капитал растет очень медленно и становится значительно меньше суммарного капитала производителей. Если же большая часть прибыли отдается инвесторам, то происходит обратная ситуация.

Также было проанализировано влияние параметра a , входящего в функцию $F(x)$, определяющей величину прибыли производителей, например, кроме обычных расчетов, в которых считалось $a = 1$, был проведен расчет для $a = 10$. Было показано, что такое увеличение a приводило к более высокой дифференцировке производителей инвесторами.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, построена многоагентная модель честной рыночной экономики. Продемонстрирована работоспособность модели и получены первые результаты компьютерных экспериментов. Проанализировано влияние параметров модели на исследуемые процессы.

Возможно, что данная модель не полностью соответствует происходящим реальным экономическим процессам. Тем не менее, построенная модель может служить опорной моделью широкого класса близких экономических процессов. Более того, настоящая модель может быть определенным эталоном конкурентной, но честной экономики.

Благодарность. Авторы благодарны Редько О.В. за помощь в проведении компьютерных расчетов и плодотворные дискуссии.

Литература

1. Holvoet T., Valckenaers P. Exploiting the environment for coordinating agent intentions // Environments for Multi-Agent Systems III, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer: Berlin et al. 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.
3. Редько В. Г. Архитектура и принципы функционирования многоагентной модели конкурентной прозрачной экономики // Нейроинформатика (электронный журнал), 2012. Т. 6. № 1. С. 23-27. URL: <http://www.niisi.ru/iонт/ni/Journal/V6/N1/Redko.pdf>