

В.Г. РЕДЬКО, СОХОВА З.Б.

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва
vgregatedko@gmail.com, zarema_s@mail.ru

АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЗРАЧНОЙ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ¹

Построена агент-ориентированная модель прозрачной рыночной экономической системы. Рассматривается сообщество взаимодействующих инвесторов и производителей. Продемонстрирована работоспособность модели и получены первые результаты ее исследования. Показана эффективность предложенной схемы взаимодействия между инвесторами и производителями.

***Ключевые слова:** агент-ориентированные модели, конкуренция, легкие агенты-посланники*

Введение

Данная работа является развитием работы [1], в которой была предложена модель взаимодействия агентов инвесторов и производителей в среде прозрачной экономической системы. Предлагаемый в настоящей модели метод основан на подходе работ [2, 3], в которых использовались легкие агенты-посланники (аналоги искусственных муравьев) для оптимизации работы производственного цеха и маршрутизации движения автомобилей в городе.

В настоящей работе легкие агенты используются для оптимизации функционирования сообщества инвесторов и производителей. В отличие от других работ по многоагентным экономическим моделям (см., например, [4]) рассматривается упрощенное экономическое сообщество, состоящее только из инвесторов и производителей, что позволяет построить и проанализировать модель достаточно четко. В этом обществе имеется конкуренция, которая может приводить к вымиранию тех или иных инвесторов и/или производителей, что характерно для рыночной экономики. Тем не менее, хотя экономика и рыночная, экономические характеристики каждого из субъектов сообщества открыты для всего сообщества и взаимодействие между субъектами однозначно определено. Поэтому такую экономическую систему можно назвать «честной рыночной экономикой».

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 13-01-00399

Общие положения модели

Полагаем, что 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 своем текущем капитале и прибыли. Время t дискретно. Имеются периоды функционирования сообщества. Например, каждый период может быть равен одному году. Далее 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 полученную им прибыль между инвесторами пропорционально их вкладам, при этом определенная доля прибыли остается у производителя.

В конце периода $T-1$ каждый инвестор принимает решение: какой капитал вложить в того или иного производителя в следующий период T . Для того чтобы принять решение с учетом намерений других инвесторов организуется итеративный процесс, который будет подробно описан ниже.

Принципы функционирования сообщества производителей и инвесторов

Считаем, что перед началом периода T i -й производитель имеет собственный исходный капитал C_{i0} . К капиталу каждого производителя добавляются вклады 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. Величины k_i в конце каждого периода случайно варьируются. При компьютерном моделировании считалось, что функция

$F(x)$ имеет вид $F(x) = \frac{x^2}{x^2 + a^2}$, где a – положительный параметр.

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:

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

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

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

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 к 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.

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} (для невыбранных производителей формально полагалось $A_{ij} = 0$). А именно, намечается, что вклад j -го инвестора в i -го производителя C_{ij} будет равен:

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

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 ко 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 намеченных вкладов всех инвесторов $\sum_{l=1}^N C_{il}$. Далее производители ранжируются, и капитал инве-

стора 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 коэффициен-

тами инфляции) и пересчитывается капитал инвесторов $K_{inv}(T+1) = k_{inf} K_{inv}(T)$, где k_{inf} – коэффициент инфляции ($0 < k_{inf} \leq 1$).

Если капитал инвестора или производителя стал меньше определенного 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.

Результаты моделирования

Параметры моделирования. Описанная выше модель была реализована в виде компьютерной программы на языке Java. 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 $k_{выпл} = 0,3$,
- характерная величина случайной вариации коэффициентов k_i , определяющих эффективность i -го производителя: $\Delta k = 0,5$,
- параметр функции $F(x)$, определяющей величину прибыли: $a = 1$ или $a = 10$.

Начальные капиталы инвесторов и производителей, а также величины k_i , характеризующие эффективность производителей в начале расчета были случайными, равномерно распределенными в интервале $[0, 1]$.

Для получения надежных данных всюду проводилось усреднение по 100 различным расчетам.

При делении производителя или инвестора «родитель» отдавал половину своего капитала «потомку». Деление осуществлялось в конце периода.

Проверка сходимости итеративного процесса. В модели существенно то, что в итеративном процессе вклады отдельного инвестора могут меняться от итерации к итерации в зависимости от намечаемых вкладов других инвесторов. Поэтому предварительно была проверена сходимость итеративного процесса. Зависимость конечного суммарного капитала производителей от числа итераций в каждом периоде для $a = 1$ (параметра функции $F(x)$) представлена на рис. 1. Видно, что итеративный процесс сходится в течение 10-20 итераций. Был также проведен аналогичный расчет для параметра $a = 10$, сходимость итеративного процесса за 20 итераций была подтверждена и в этом случае. С учетом этой проверки при расчетах полагалось, что число итераций равно 20.

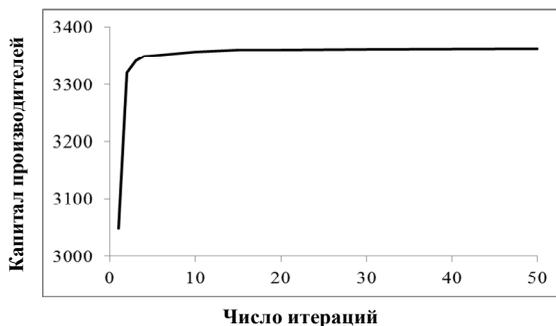


Рис. 1. Сходимость итеративного процесса ($k_{amr} = 1, k_{inf} = 1$)

Основной расчет. Приведем результаты для расчета, в котором нет амортизации и инфляции: $k_{amr} = 1, k_{inf} = 1$ (рис. 2).

Рис. 2 показывает, что при $k_{amr} = 1, k_{inf} = 1$ суммарный капитал производителей и инвесторов со временем растет.

Влияние амортизации капитала производителей и инфляции на моделируемые процессы. При умеренной амортизации и инфляции суммарный капитал производителей и инвесторов со временем несколько повышается и при больших T почти не меняется (рис. 3).

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

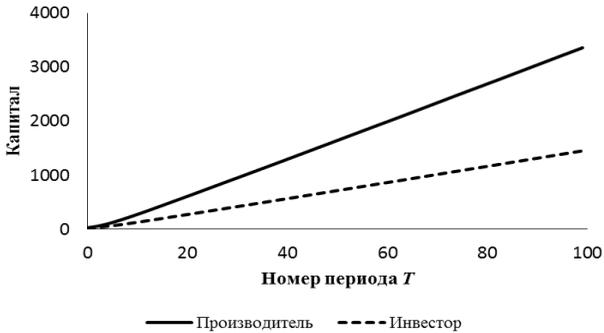


Рис. 2. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от времени (номера периода). Идеальная экономическая среда: $k_{amr} = 1$, $k_{inf} = 1$

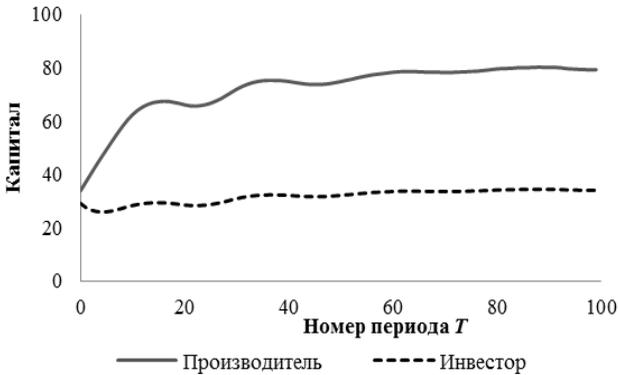


Рис. 3. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от времени. Умеренная инфляция и амортизация, $k_{amr} = 0,8$, $k_{inf} = 0,8$

Эффективность итеративных оценок. Для того чтобы показать, что инвесторы намного успешнее работают, если делают итеративные оценки возможной прибыли при принятии решений, для типичных параметров были проведены расчеты с итеративными оценками и без них. На рис. 5, 6 представлены результаты моделирования.

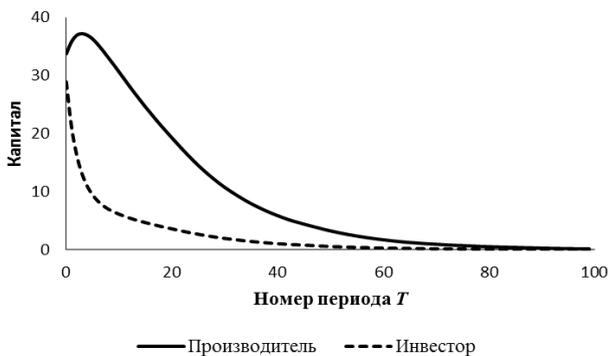


Рис. 4. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от времени, $k_{amr} = 0,8$, $k_{inf} = 0,6$

Видно, что от оценок сильно зависит как успешность инвесторов, так и успешность производителей. Суммарный капитал производителей и инвесторов намного выше в модели с итеративными оценками.

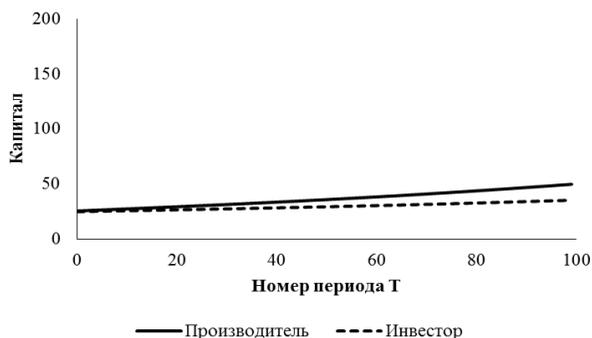


Рис. 5. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от итеративных оценок. Расчет без итеративных оценок.

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

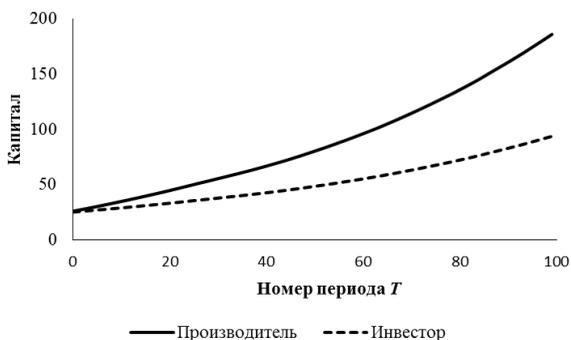


Рис. 6. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от итеративных оценок. Расчет с итеративными оценками.

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 существенно возрастал. При этом капитал производителей при изменении m менялся незначительно.

Было проанализировано влияние распределения полученного капитала между производителями и инвесторами, т.е. варьировался параметр $k_{\text{выпл}}$. Например, сравнивались расчеты для $k_{\text{выпл}} = 0,1$ и $k_{\text{выпл}} = 0,7$. 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 ($k_{\text{выпл}} = 0,7$), 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.

Заключение

Таким образом, построена многоагентная модель прозрачной рыночной экономики. Продемонстрирована работоспособность модели и полу-

чены первые результаты компьютерных экспериментов. Проанализировано влияние параметров модели на исследуемые процессы.

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

Список литературы

1. Сохова З.Б., Редько В.Г. Исследование поведения агентов-инвесторов и агентов-производителей в многоагентной модели конкурентной экономики // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации. Сборник научных трудов. Ч.1. – М.: МГТУ МИРЭА, 2012, С. 145-149.
2. 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.
3. Claes R., Holvoet T., Weys D. A decentralized approach for anticipatory vehicle routing using delegate multiagent systems // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2011. Vol. 12. No. 2. P. 364-373.
4. Бахтизин А.Р. Гибрид агент-ориентированной модели с пятью группами домохозяйств и CGE модели экономики России // Искусственные общества. – М: ЦЭМИ РАН, 2007. Т. 2. № 2. С. 30-75.