

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНВЕСТОРОВ И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В ПРОЗРАЧНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ*

© 2018 г. В.Г. Редькоⁱ, З.Б. Соховаⁱⁱ

В работе построена и исследована модель прозрачной экономической системы, состоящей из сообщества инвесторов и производителей, которые между собой открыто обмениваются информацией. Перед инвесторами в предлагаемой модели стоит задача эффективного распределения капитала между производителями, с учетом действий, которые предпринимают другие инвесторы. Инвесторы и производители обмениваются информацией о своих капиталах, намерениях и прибылях; эта информация открыта для всех участников сообщества. Обмен информацией позволяет сформировать *децентрализованную систему* взаимодействий в рассматриваемом экономическом сообществе. Важным элементом в модели является *итеративный процесс*, который помогает каждому инвестору учитывать капиталовложения других инвесторов в производителей. Модель исследована с помощью компьютерного моделирования, результаты которого демонстрируют эффективность предложенной схемы взаимодействий. Детально исследован итеративный процесс, на каждой итерации которого инвесторы сообщают производителям о своих намерениях вложить определенный капитал в тех или иных производителей, а производители учитывают эти намерения при пересчете своих капиталов. Показано, что после достаточно большого числа таких шагов итеративный процесс сходится. Также показано, что наличие итераций может приводить к более эффективному сотрудничеству в экономическом сообществе, чем аналогичное сотрудничество, но без итераций.

Ключевые слова: инвесторы, производители, конкуренция, обмен информацией в экономическом сообществе, итеративный процесс, децентрализованная система, коллективное поведение.

Классификация JEL: C63.

DOI: 10.7868/S0424738818020048

1. ВВЕДЕНИЕ

Конкуренция предприятий — один из аспектов экономических процессов. Конкуренция способствует соревновательности между субъектами экономической системы. Конкуренция может иметь как жесткий, так и смягченный характер. В последние годы важную роль приобретает сотрудничество между предприятиями, которое смягчает роль конкуренции. На это в недавних работах четко обратил внимание В.М. Полтерович (Полтерович, 2015, 2016). В этих работах подчеркивается, что «конкурентные механизмы могут быть встроены в институты сотрудничества». Формы агрессивной и конструктивной конкуренции между отдельными индивидуумами в рамках агент-ориентированного подхода были проанализированы также в работах (Бурцев, Турчин, 2007; Burtsev, Turchin, 2006; Редько и др., 2007).

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-01-00223).

Авторы благодарят руководителей семинаров С.Ю. Малкова и И.Г. Поспелова за обсуждение начальных вариантов данной работы на научных семинарах. Авторы благодарны анонимному рецензенту за полезные замечания, способствовавшие уточнению содержания и улучшению изложения материала статьи.

ⁱ **Владимир Георгиевич Редько** — д.ф.-м.н., зам. руководителя Центра оптико-нейронных технологий, Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН), 117218, Москва, Нахимовский проспект, 36, кор. 1; vgrecko@gmail.com.

ⁱⁱ **Зарема Борисовна Сохова** — м.н.с., Центр оптико-нейронных технологий, Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН), 117218, Москва, Нахимовский проспект, 36, кор. 1; zarema_s@mail.ru.

В настоящей статье строится и исследуется конкретная модель достаточно простой экономической системы с *мягкой, конструктивной конкуренцией*. Система состоит из производителей и инвесторов, которые могут конкурировать между собой, но тем не менее открыто обмениваются информацией о своих капиталах. Так, инвесторы сообщают в том числе о своих намерениях вложить тот или иной капитал в определенных производителей.

Прототипом нашей модели служат работы бельгийских исследователей (Holvoet, Valckenaers, 2007; Claes, Holvoet, Weyns, 2011), в которых использовались легкие агенты-посланники для оптимизации работы производственного цеха и маршрутизации движения автомобилей в городе. Легкие агенты-посланники служили только для обмена информацией между более сосредоточенными агентами автомобилей и агентами инфраструктуры. Наша модель наиболее близка схеме маршрутизации движения автомобилей в городе. В этой схеме имеются агенты автомобилей и агенты инфраструктуры города (например, агенты инфраструктуры могут быть расположены на перекрестках города). Агент автомобиля с помощью агентов-посланников запрашивает агентов инфраструктуры города об ожидаемых трафиках движения в определенных элементах инфраструктуры и с учетом ожидаемых трафиков строит маршрут будущего движения своего автомобиля. После этого агент автомобиля сообщает (с помощью агентов-посланников) агентам инфраструктуры о своем намерении проехать через определенные элементы инфраструктуры. И агенты инфраструктуры учитывают намеченные маршруты всех автомобилей, т.е. уточняют загрузку элементов инфраструктуры города. Важно, что агенты автомобилей и агенты инфраструктуры функционируют между собой согласованно. Система такого взаимодействия децентрализованная. Эта система динамическая, т.е. и намечаемые маршруты автомобилей, и загрузка инфраструктуры со временем меняются.

Аналогично в нашей модели строится *децентрализованная система* взаимодействия инвесторов и производителей, которые с помощью агентов-посланников открыто обмениваются информацией между собой.

Отметим, что в близкой, но другой трактовке коллективное поведение элементов экономических систем в условиях децентрализации представлено в работах (Варшавский, 1973; Варшавский, Поспелов, 1984). Исследование проводится на основе автоматов М.Л. Цетлина (Цетлин, 1969). В частности, рассматривается организация коллективного поведения потребителей в условиях децентрализации с помощью *итеративного процесса*. В данном случае активным является потребитель ресурса, а владелец ресурса не решает никаких оптимизационных задач, т.е. ему не требуются знания об эффективности потребителей. Организуется итеративный процесс, в ходе которого потребители вырабатывают запросы на ресурс. Запрос может представлять собой некоторую сумму денег, которые потребитель готов потратить на ресурс. Все запросы суммируются, и ресурс распределяется пропорционально присланным деньгам. При этом на каждом шаге итерации запросы потребителей корректируются с учетом того, какая часть ресурса получена ими в результате текущего запроса. В итоге показано, что коллектив потребителей приходит к точке равновесия с оптимальным распределением ресурса.

Для решения задачи распределения ресурса также используются методы, основанные на теоретико-игровом подходе. Такой подход предложен в рамках теории активных систем, например в работах (Бурков и др., 1988; Бурков, Новиков, 1999).

В настоящей работе предлагается модель взаимодействия между инвесторами и производителями. В отличие от описанных выше работ в нашей модели обладателем ресурса является не единственный центр, а целое сообщество, каждый участник которого распоряжается своим капиталом самостоятельно. Активным является владелец ресурса – инвестор. Инвестор, выбирая производителей для капиталовложений, руководствуется такими характеристиками производителя, как *эффективность производства* и *капитал*, имеющийся у производителя. Ключевым аспектом модели является *прозрачность* экономической системы. Под *прозрачностью* подразумевается открытость информации в сообществе. Далее мы подробнее остановимся на важном вопросе, как обмен информацией влияет на принятие инвесторами решений. Для обмена информацией внутри сообщества инвесторов и производителей используются агенты-посланники (агенты-разведчики и агенты намерений). Агенты-посланники служат только для обмена информацией между инвесторами и производителями.

В отличие от других работ о многоагентных экономических моделях (см., например, (Бахтин, 2007)), в которых анализируется поведение нескольких групп агентов, мы рассматриваем упрощенное экономическое сообщество, состоящее только из инвесторов и производителей, что позволяет четко построить и проанализировать модель.

2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

В этом разделе мы изложим описание модели предлагаемого подхода к изучению поведения сообщества производителей и инвесторов.

2.1. Общие положения. Полагаем, что имеется сообщество, состоящее из N инвесторов и M производителей, каждый из которых имеет определенный капитал K_{inv} и K_{pro} . Производители сообщества характеризуются также эффективностью своего производства k_i . Инвесторы и производители функционируют в среде *прозрачной экономики*. Прозрачность среды означает, что производители и инвесторы предоставляют всему сообществу информацию о собственном текущем капитале, прибыли и намерениях. В частности, производители предоставляют инвесторам информацию о размере своего капитала и эффективности. А инвестор, располагая информацией об эффективности и размере капитала того или иного производителя, может формировать намерение о том, какое капиталовложение сделать в производителя. Данное намерение также открыто для сообщества. Это позволяет корректировать размеры капиталовложений всем инвесторам в зависимости от намерений других инвесторов. Считаем, что вся информация, которая открыта для сообщества инвесторов и производителей, достоверна, т.е. члены сообщества, обмениваясь информацией о размерах своих капиталов или намерениях сделать то или иное капиталовложение, сообщают только достоверные данные. При компьютерном исследовании модели будет показано, что инвесторам и производителям выгодно делиться информацией.

Пусть имеются периоды функционирования сообщества инвесторов и производителей. Например, каждый период может быть равен одному году. T – номер периода. Для того чтобы более точно провести дальнейшие рассуждения, разъясим два термина, используемые в работе: T – период времени, t – итерация. Вся шкала времени в модели разделена на периоды функционирования агентов $T = \{1, \dots, N_T\}$, где N_T – число периодов. Внутри каждого периода проводится серия итераций, которые обозначаются $t = \{1, \dots, t_{max}\}$, где t_{max} – максимальное число итераций внутри периода.

Обмен информацией между инвесторами и производителями в модели происходит с помощью агентов-посланников, – аналогичных тем, которые использовались в работе (Claes, Holvoet, Weyns, 2011). Имеется два типа агентов-посланников: *агенты-разведчики* и *агенты намерений*.

Охарактеризуем итеративный процесс, выполняющийся между двумя периодами $[T - 1, T]$. В начале периода T инвесторы делают капиталовложения в тех производителей, которые были выбраны в конце предыдущего периода $(T - 1)$. В конце периода $(T - 1)$ проводится серия итераций, в результате которых инвесторы принимают решение о капиталовложениях на следующий период T . На первой итерации каждый инвестор рассылает агентов-разведчиков, которые определяют, какова величина капитала каждого производителя. На основании данных о капиталах производителей инвесторы оценивают возможные прибыли от всех производителей и выбирают m наиболее выгодных ($m \leq M$).

Далее каждый инвестор рассылает агентов намерений, которые сообщают производителям о тех капиталовложениях, которые собираются сделать инвесторы. Учитывая намерения инвесторов, производители переоценивают свой капитал, и на следующей итерации они сообщают агентам-разведчикам размер своего капитала уже *с учетом капиталовложений всех возможных инвесторов*. Соответственно изменятся и оценки размера прибыли, которую могут теперь получить производители и инвесторы.

Здесь наблюдается влияние инвесторов друг на друга, хотя они напрямую между собой информацией не обмениваются. Этот обмен происходит через производителей. Такой итеративный процесс продолжается в ходе достаточного большого числа итераций. После этого инвесторы принимают окончательное решение о капиталовложениях в производителей на следующий

период T . Эти капиталовложения равны намеченным инвесторами капиталовложениям на последней итерации. Следует отметить, что агенты-посланники не решают никаких вычислительных задач, они лишь собирают и передают информацию внутри системы.

В конце периода производители распределяют часть полученной ими прибыли между инвесторами пропорционально их капиталовложениям. Если капитал инвестора или производителя стал меньше определенного малого порога Th_{min_inv} или Th_{min_pro} , то такой 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.

2.2. Механизм распределения капиталовложений. Считаем, что перед началом периода T производитель i имеет собственный исходный капитал C_{i0} . К капиталу каждого производителя добавляются капиталовложения от инвесторов. Будем полагать, что производитель вкладывает в производство весь имеющийся у него к началу периода капитал C_i :

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

где C_{ij} – капитал, вложенный инвестором j в производителя i в начале периода. Считаем, что зависимость прибыли производителя от его текущего капитала $Pr_i(C_i)$ нелинейная: 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 – одинаковая для всех производителей, а коэффициент k_i характеризует эффективность производства производителя i . Величины k_i в конце каждого периода варьируются случайно. При компьютерном моделировании считалось, что функция $F(x)$ имеет вид $F(x) = x^2 / (x^2 + a^2)$, где a – положительный параметр.

В конце периода T производитель возвращает инвесторам вложенный ими капитал. Кроме того, производитель выплачивает инвесторам часть полученной им прибыли. Причем инвестор j отдается часть прибыли, пропорциональная сделанному им капиталовложению в данного производителя:

$$Pr_{ij} = k_{repa} Pr_i(C_i) C_{ij} / \sum_{l=1}^N C_{il}, \tag{2}$$

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

$$Pr_{proi} = (1 - k_{repa}) Pr_i(C_i). \tag{3}$$

2.3. Схема итеративного процесса принятия решения инвесторами. Изложим подробнее схему итеративного процесса. Итеративный процесс, в течение которого определяются капиталовложения 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 капиталовложения других инвесторов в производителей. Далее инвесторы оценивают величины A_{ij} , характеризующие прибыль, ожидаемую от производителя i в течение нового периода T . Эти величины A_{ij} равны

$$A_{ij} = k_{dist} Pr_{ij} = k_{dist} k_{repa} k_i F(C'_{i0}) C_{ij} / \sum_{l=1}^N C_{il}, \tag{4}$$

где C_{il} – капитал, вложенный инвестором l в производителя i , C'_{i0} – предполагаемый исходный капитал производителя i в начале следующего периода (пока без учета капиталовложений инвесторов), $k_{dist} = k_{test}$ либо k_{untest} , $k_{test} > k_{untest}$. Положительные параметры k_{test} , k_{untest} определяют уровень доверия инвестора производителю, т.е. полагается, что степень доверия инвестора к проверенному и непроверенному производителю равна k_{test} и k_{untest} соответственно. Эти параметры

учитывают, в какой мере инвестор предпочитает проверенных им производителей. При моделировании полагалось $k_{test} = 1$, $k_{untest} = 0,5$.

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 инвестор j формирует намерение распределить весь свой капитал K_{invj} по всем выбранным производителям, пропорционально полученным оценкам A_{ij} . А именно намечается, что капиталовложение инвестора j в производителя i C_{ij} будет равно

$$C_{ij} = K_{invj} A_{ij} / \sum_{l=1}^M A_{lj}. \quad (5)$$

Для невыбранных производителей формально полагалось $A_{ij} = 0$.

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 производителя. 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 по всем производителям и оценивают новые капиталы производителей C'_{i0} с учетом намерений других инвесторов, а также суммы $\sum_{l=1}^N C_{il}$. Инвесторы делают оценки ожидаемой прибыли согласно выражению (4), в котором уже учитывается сумма намеченных капиталовложений всех инвесторов $\sum_{l=1}^N C_{il}$. Далее каждый инвестор ранжирует производителей, и капитал инвестора распределяется пропорционально *новым полученным оценкам* A_{ij} — согласно выражению (5). Инвесторы снова рассылают агентов намерений, чтобы сообщить производителям намеченные размеры капиталовложений.

Делается достаточно большое число таких итераций, после чего итерации заканчиваются и каждый инвестор принимает окончательное решение, какие вложения сделать на следующий период T . Окончательные капиталовложения 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

3.1. Параметры компьютерных экспериментов. Модель исследовалась с помощью компьютерных расчетов, при этом использовались следующие параметры: общее число периодов в рассматриваемых процессах: $N_T = 100, 250$; число итераций в каждом периоде: $t_{max} = 1, \dots, 30$; максимальные пороги капиталов производителей и инвесторов (превышение этих порогов приводило к делению производителя или инвестора): $Th_{max_pro} = 1$ или 3, $Th_{max_inv} = 1$ или 3; минимальные пороги капиталов производителей и инвесторов (если капитал оказывался 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 число производителей и инвесторов: $N_{pro_initial} = 50$; $N_{inv_initial} = 50$; максимальное число производителей m , в которое мог вкладывать капитал инвестор, обычно полагалось $m = 20$ или 100. Доля выплат из полученной производителями прибыли инвесторам обычно полагалась $k_{repay} = 0,3; 0,5$ или 0,6; характерная величина случайной вариации коэффициентов k_i , определяющих эффективность производителя i : $\Delta k = 0,01$; параметр функции $F(x)$, определяющей величину прибыли $a = 5$.

Величины k_i , характеризующие эффективность производителей, исходно (в начале расчета) были случайными, равномерно распределенными в интервале $[0, 1]$. При делении производителя или инвестора родитель отдавал половину своего капитала потомку. Деление осуществлялось в конце периода. Начальные капиталы инвесторов и производителей исходно были случайными, они были равномерно распределены в интервале $[0, 1]$.

Изложим результаты моделирования. Начнем с анализа 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.

При компьютерном моделировании для получения общей картины поведения инвесторов и производителей проводилось усреднение по 100 или 1000 различным расчетам.

3.2. Роль итеративного процесса. Для типичных параметров расчетов была проверена зависимость конечного суммарного капитала производителей и инвесторов от числа итераций в каждом периоде. Результаты в идеальной среде, без инфляции и амортизации, представлены на рис. 1. Данные усреднены по 100 различным расчетам.

Рассмотрим теперь, как ведет себя сходимость в случае инфляции и амортизации, равной 5%, при распределении капиталовложений в 20 производителей ($m = 20$). Результаты моделирования представлены на рис. 2. Данные усреднены по 1000 различным расчетам.

Результаты эксперимента показывают, что итеративный процесс сходится и в этом случае. Здесь следует отметить более *значимое влияние* итераций на капиталы производителей и инвесторов.

Положим теперь порог деления производителей и инвесторов $Th_{max} = 3$, а коэффициент выплат $k_{repay} = 0,5$ и посмотрим, как ведет себя сходимость итеративного процесса. Результаты представлены на рис. 3. Данные усреднены по 1000 различным расчетам. Суммарный капитал производителей и инвесторов увеличится при этом на 50%. Так как производители отдают инвесторам ровно половину прибыли, то графики зависимостей суммарных капиталов от числа итераций для производителей и инвесторов совпадают.

Выше рассматривалась сходимость итеративного процесса в период $T = 100$. При компьютерном моделировании проводились также расчеты для $T = 1, 10, 50$ ($a = 5$; $k_{amr} = 1$; $k_{inf} = 1$; $Th_{max_inv} = Th_{max_pro} = 1$; $Th_{min_inv} = Th_{min_pro} = 0,01$; $k_{repay} = 0,3$). При $T = 1$ или 10 размер прибыли от числа итераций зависит незначительно, увеличение капитала за счет итераций составляет в этом

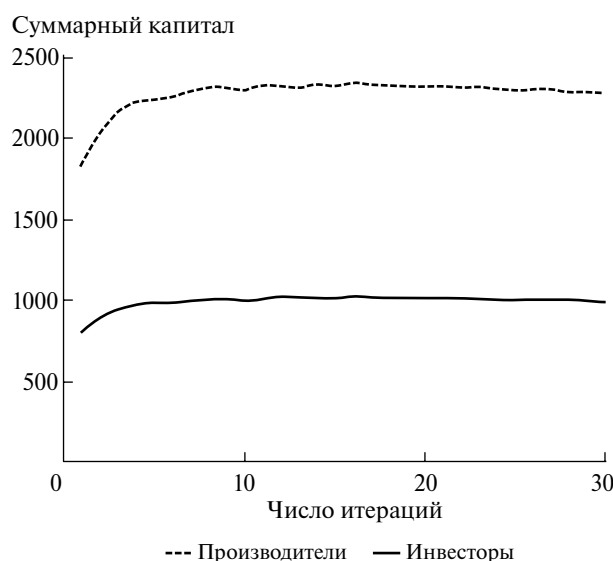


Рис. 1. Зависимость суммарных капиталов (усл. единицы) производителей и инвесторов от числа итераций ($a = 5$; $k_{amr} = 1$; $k_{inf} = 1$; $m = 100$; $T = 100$; $Th_{max_inv} = Th_{max_pro} = 1$; $Th_{min_inv} = Th_{min_pro} = 0,01$; $k_{repay} = 0,3$)

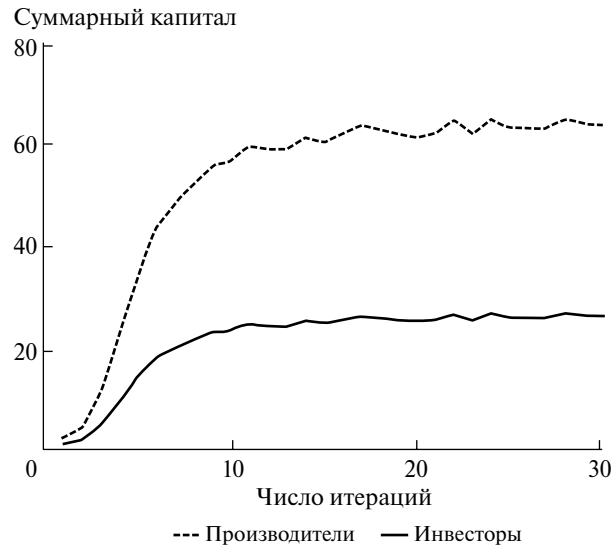


Рис. 2. Зависимость суммарных капиталов (усл. единицы) производителей и инвесторов от числа итераций ($a = 5$; $k_{amr} = 0,95$; $k_{inf} = 0,95$; $m = 20$; $T = 100$; $Th_{max_inv} = Th_{max_pro} = 1$; $Th_{min_inv} = Th_{min_pro} = 0,01$; $k_{repa} = 0,3$)



Рис. 3. Зависимость суммарных капиталов (усл. единицы) производителей и инвесторов от числа итераций. Учитываются инфляция и амортизация, повышен порог деления производителей и инвесторов ($a = 5$; $k_{amr} = 0,95$; $k_{inf} = 0,95$; $m = 100$; $T = 100$; $Th_{max_inv} = Th_{max_pro} = 3$; $Th_{min_inv} = Th_{min_pro} = 0,01$; $k_{repa} = 0,5$)

случае 7% для производителей и 3% — для инвесторов. Но с течением времени такая зависимость растет, и при $T = 50$ капиталы производителей и инвесторов увеличиваются на 12%. При $T = 100$ увеличение капитала за счет итераций составляет 23%. С учетом проверки сходимости итеративного процесса при расчетах полагалось, что число итераций равно 30.

3.3. Эффективность итеративных оценок. Для того чтобы показать, что инвесторы успешнее, если взаимодействуют с другими инвесторами (т.е. если они используют итеративные оценки для определения размера своих капиталовложений), для типичных параметров были проведены расчеты с итеративными оценками ($t_{max} = 30$) и без них ($t_{max} = 1$). Рассмотрим два случая: 1) без инфляции и амортизации; 2) с инфляцией и амортизацией. На рис. 4 представлены результаты моделирования. Результаты усреднены по 100 различным расчетам. Видно, что от итеративных оценок зависит как успешность инвесторов, так и успешность производителей. Причем в случае

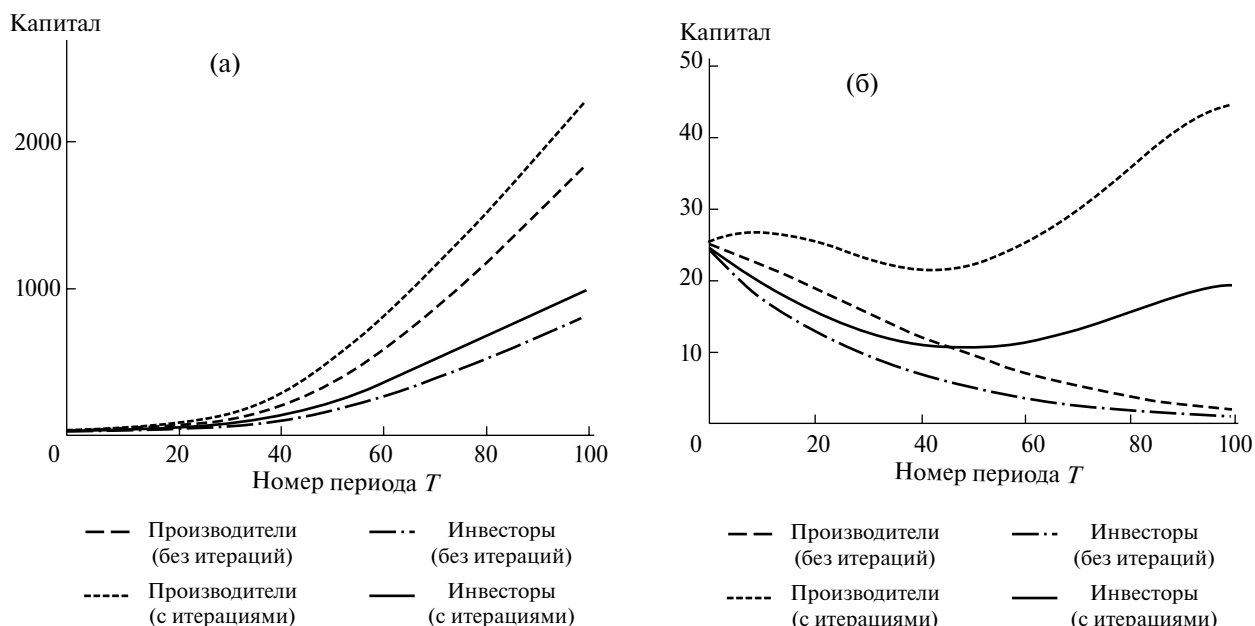


Рис. 4. Роль итеративных оценок. Зависимость суммарного капитала (усл. единицы) производителей и инвесторов от времени ($a = 5$; $T = 100$; $m = 100$; $Th_{max_inv} = Th_{max_pro} = 1$; $Th_{min_inv} = Th_{min_pro} = 0,01$; $k_{repaу} = 0,3$) : а) без инфляции и амортизации ($k_{amr} = 1$, $k_{inf} = 1$); б) с инфляцией и амортизацией ($k_{amr} = 0,95$; $k_{inf} = 0,95$)

с инфляцией и амортизацией это влияние существенное (рис. 4б), так как, если итерации не проводятся ($t_{max} = 1$), капитал производителей и инвесторов уменьшается, и сообщество прекращает свое существование.

3.4. Роль распределения прибыли между инвесторами и производителями. Также было проанализировано влияние распределения полученной прибыли между производителями и инвесторами, т.е. варьировался параметр $k_{repaу}$. Результаты компьютерных экспериментов показали, что в идеальной экономической среде (нет инфляции и амортизации) выгодно выбирать $k_{repaу} = 0,4$ или $0,5$. Результат (усредненный по 100 расчетам) представлен на рис. 5. При сильном увеличении доли выплат инвесторам суммарный капитал сообщества начинает сокращаться. При умеренной инфляции и амортизации влияние параметра $k_{repaу}$ оказывается более существенным. Сообществу невыгодно отдавать менее 50 и более 60% прибыли инвесторам. Результаты (усредненные по 100 расчетам) представлены на рис. 6.



Рис. 5. Зависимость суммарного капитала (усл. единицы) сообщества от параметра $k_{repaу}$ ($a = 5$; $T = 100$; $m = 100$; $Th_{max_inv} = Th_{max_pro} = 3$; $Th_{min_inv} = Th_{min_pro} = 0,01$; $k_{amr} = 1$; $k_{inf} = 1$)

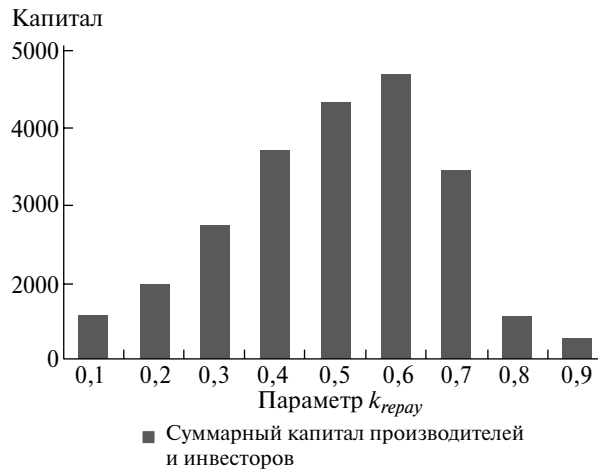


Рис. 6. Зависимость суммарного капитала (усл. единицы) сообщества от параметра k_{repay} ($a = 5$; $T = 100$; $m = 100$; $Th_{max_inv} = Th_{max_pro} = 3$; $Th_{min_inv} = Th_{min_pro} = 0,01$; $k_{amr} = 0,95$; $k_{inf} = 0,95$)

Расчеты показывают, 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. Интересен тот факт, что, если производитель отдает 60% прибыли инвесторам, суммарный капитал сообщества получается выше, чем если бы производитель отдавал 50%. Иными словами, через инвесторов происходит более выгодное для всего сообщества перераспределение капитала.

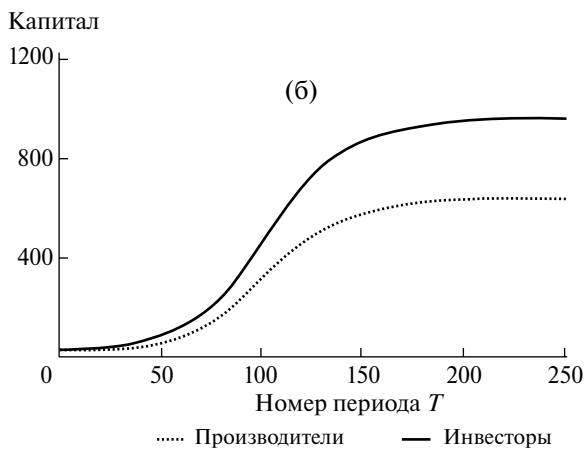
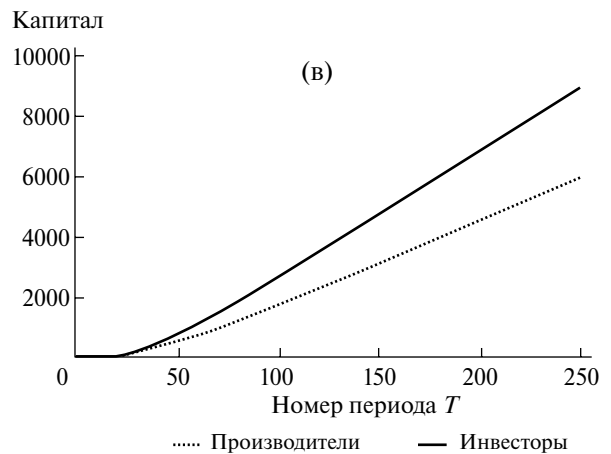
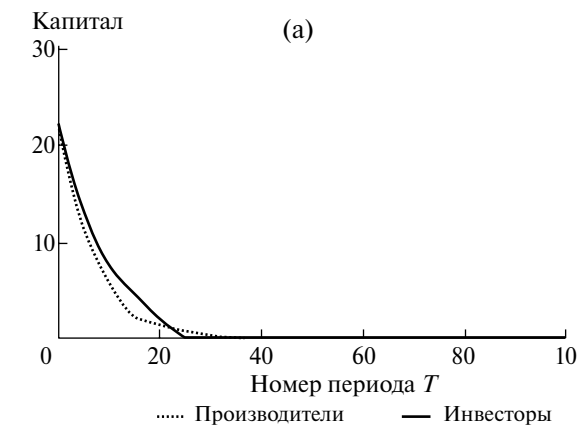


Рис. 7. Зависимость суммарного капитала производителей и инвесторов от времени, усл. единицы. Различная инфляция и амортизация ($a = 5$; $T = 250$; $m = 100$; $Th_{max_inv} = Th_{max_pro} = 3$; $Th_{min_inv} = Th_{min_pro} = 0,1$; $k_{repay} = 0,6$): а) с высокой инфляцией и амортизацией ($k_{amr} = 0,85$; $k_{inf} = 0,85$); б) с умеренной инфляцией и амортизацией ($k_{amr} = 0,95$; $k_{inf} = 0,95$); в) без инфляции и амортизации ($k_{amr} = 1$, $k_{inf} = 1$)

3.5. Влияние амортизации и инфляции. Чтобы ответить на вопрос, как уровни инфляции и амортизации влияют на результаты работы сообщества, были проведены эксперименты с различными коэффициентами $k_{амр}$, $k_{инф}$. Результаты (усредненные по 100 расчетам) представлены на рис. 7.

Анализ полученных результатов показывает, что при высокой инфляции и амортизации капитал производителей и инвесторов уменьшается и они погибают (рис. 7а). При умеренной амортизации и инфляции суммарный капитал производителей и инвесторов сначала растет, затем достигает предела, и сообщество приходит в состояние равновесия (рис. 7б). В идеальной среде капиталы растут (рис. 7в).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, построена модель взаимодействия инвесторов и производителей в прозрачной экономической системе. Оригинальные черты модели: сотрудничество между инвесторами и производителями, открытость информации о капиталах производителей и намерениях инвесторов вложить капиталы в тех или иных производителей, итеративный процесс формирования размеров капиталовложений. Показано, что итеративный процесс принятия решения инвесторами при переоценке ожидаемых прибылей от производителей сходится. Наиболее важным результатом является разработка нового метода выгодного распределения капитала в конкурентной среде — через сотрудничество. В предлагаемой модели экономика прозрачная и участники экономического сообщества открыто делятся информацией между собой. Результаты проведенных компьютерных экспериментов показали, что такое сотрудничество выгодно сообществу.

В дальнейшем планируется более детально исследовать процессы эволюции рассматриваемого сообщества. Например, важен вопрос о том, как в процессе эволюции ведет себя коэффициент эффективности производителей. Так же можно ввести обучение инвесторов путем настройки степени доверия производителям. В частности, уровень доверия инвесторов производителям может плавно увеличиваться или уменьшаться в зависимости от получаемой прибыли. Соответственно, у инвесторов в процессе обучения и взаимодействия с производителями будет формироваться определенное мнение о каждом производителе.

Хотя в настоящей модели представлено упрощенное экономическое сообщество, развивая модель, можно исследовать и близкие процессы, которые происходят в реальной экономике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бахтизин А.Р. (2007). Гибрид агент-ориентированной модели с пятью группами домохозяйств и CGE-модели экономики России // *Искусственные общества*. Т. 2. № 2. С. 30–75.
- Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К., Нанева Т.Б., Подвальный Л.Д., Юсупов Б.С. (1988). Конкурсные механизмы в задачах распределения ограниченных ресурсов // *Автоматика и телемеханика*. № 11. С. 142–153.
- Бурков В.Н., Новиков Д.А. (1999). Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег.
- Бурцев М.С., Турчин П.В. (2007). Эволюция кооперативных стратегий из первых принципов. В кн.: П.В. Турчин *«Историческая динамика. На пути к теоретической истории»*. Приложение С.М.: УРСС. С. 317–328.
- Варшавский В.И. (1973). Коллективное поведение автоматов. М.: Наука.
- Варшавский В.И., Поспелов Д.А. (1984). Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы.
- Полтерович В.М. (2015). От социального либерализма — к философии сотрудничества // *Общественные науки и современность*. № 4. С. 41–64.
- Полтерович В.М. (2016). Позитивное сотрудничество: факторы и механизмы эволюции // *Вопросы экономики*. № 11. С. 5–23.

- Редько В.Г., Бурцев М.С., Сохова З.Б., Бесхлебнова Г.А.** (2007). Моделирование конкуренции при эволюции многоагентной системы // *Искусственные общества*. Т. 2. № 2. С. 76–89.
- Цетлин М.Л.** (1969). Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М.: Наука.
- Burtsev M., Turchin P.** (2006). Evolution of Cooperative Strategies from First Principles // *Nature*. Vol. 440. No. 7087. P. 1041–1044.
- Claes R., Holvoet T., Weyns D.** (2011). A Decentralized Approach for Anticipatory Vehicle Routing Using Delegate Multiagent Systems // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 12. No. 2. P. 364–373.
- Holvoet T., Valckenaers P.** (2007). Exploiting the Environment for Coordinating Agent Intentions. In: “*Environments for Multi-Agent Systems III, Lecture Notes in Artificial Intelligence*”. Berlin: Springer. Vol. 4389. P. 51–66.

Поступила в редакцию
03.02.2017 г.

REFERENCES (with English translation or transliteration)

- Bakhtizin A.R.** (2007). Hybrid of Agent Based Model with 5 Income Groups of Households and CGE Model of Russian Economy. *Artificial Societies*, 2, 2, 30–75 (in Russian).
- Burkov V.N., Danev B., Yenaleev A.K., Naneva T.B., Podval'nyi L.D., Yusupov B.S.** (1988). Competition Mechanisms in Allocation of Limited Resources. *Automation and Remote Control*, 11, 142–153 (in Russian).
- Burkov V.N., Novikov D.F.** (1999). The Theory of Active Systems: Status and Prospects. Moscow: Sinteg (in Russian).
- Burtsev M.S., Turchin P.V.** (2006). Evolution of Cooperative Strategies from First Principles. *Nature*, 440, 1041–1044.
- Burtsev M.S., Turchin P.V.** (2007). Evolution of Cooperative Strategies from First Principles. In: Turchin P.V. *Historical Dynamics. Towards a Theoretical History. Attachment C*. Moscow: URSS, 1041–1044 (in Russian).
- Claes R., Holvoet T., Weyns D.** (2011). A decentralized Approach for Anticipatory Vehicle Routing Using Delegate Multiagent Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12, 2, 364–373.
- Holvoet T., Valckenaers P.** (2007). Exploiting the Environment for Coordinating Agent Intentions. In: “*Environments for Multi-Agent Systems III. Lecture Notes in Artificial Intelligence*”. Berlin: Springer, 4389, 51–66.
- Polterovich V.M.** (2015). From Social Liberalism Towards the Philosophy of Collaboration. *Social Sciences and Modernity*, 4, 41–64 (in Russian).
- Polterovich V.M.** (2016). Positive Collaboration: Factors and Mechanisms of Evolution. *Russian Journal of Economics*, 3, 1, 24–41 (in Russian).
- Red'ko V.G., Burtsev M.S., Sokhova Z.B., Beshlebnova G.A.** (2007). Modeling Competition with Evolution of a Multi-Agent System. *Artificial Societies*, 2, 2, 76–89 (in Russian).
- Tsetlin M.L.** (1969). Automaton Theory and Modeling of Biological Systems. Moscow: Nauka (in Russian) (Tsetlin M.L. (1973). Automaton Theory and Modeling of Biological Systems. New York: Academic Press (English edition)).
- Varshavsky V., Pospelov D.** (1988). Puppets without Strings. Moscow: Mir Publishers (English edition).
- Varshavsky V.I.** (1973). Collective Behavior of Automata. Moscow: Nauka (in Russian).

Received 03.02.2017

A model of interaction between investors and producers in a transparent economic system*

V.G. Red'koⁱ, Z.B. Sokhovaⁱⁱ

The paper presents a model of transparent economic system, economic community that consists of investors and producers. There is information exchange between investors and producers. The model describes effective distribution of capital by the investors. Each investor takes into consideration activity of other investors. The investors and producers exchange information about their capital, intentions, and profit; this information is open for all community members. The information exchange makes the possibility to create a decentralized system of interaction within the community of investors and producers. The iterative process is an important element of the model. The iterative process helps each investor to take into account decisions of other investors. The model was investigated by means of computer simulation. The results of computer simulation demonstrate the effective interaction of investors and producers in the economic community. The iterative process was thoroughly investigated. At each iteration, any investor informs producers about its intention to invest a certain capital in one or another producer. Producers take into account these intentions at recalculation of their capitals. It is shown that the iterative process converges after a sufficiently large number of such iterations. It is also shown that the presence of iterations can lead to more effective cooperation in the economic community than similar cooperation, but without iterations.

Keywords: investors, producers, competition, information exchange in economic community, iterative process, decentralized system, collective behavior.

JEL Classification: C63.

DOI: DOI: 10.7868/S0424738818020048

*This work was partially financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 16-01-00223).

The authors sincerely thank the leaders of the scientific seminars Sergey Malkov and Igor Pospelov for the opportunity to discuss first versions of this paper at seminars. The authors thank the anonymous reviewer for useful comments that helped to improve the paper.

ⁱ**Vladimir G. Red'ko** – Doct. Sc. (Physics and Mathematics), PhD, Deputy Director of Center of Optical Neural Technologies of Scientific Research Institute for System Analysis, Russian Academy of Sciences; Nakhimovskiy prospekt, 36, build. 1, Moscow, 117218, Russia; vgreddko@gmail.com.

ⁱⁱ**Zarema B. Sokhova** – Junior Researcher at Scientific Research Institute for System Analysis, Russian Academy of Sciences; Nakhimovskiy prospekt, 36, build. 1, Moscow, 117218, Russia; zarema_s@mail.ru.