

# Архитектура и принципы функционирования многоагентной модели конкурентной прозрачной экономики\*

Редько В.Г.

НИИ системных исследований РАН  
vcredko@gmail.com

**Аннотация.** Предлагается многоагентная модель конкурентной прозрачной экономики. Модель предполагает, что имеется сообщество производителей и инвесторов. Производители информируют сообщество о своем капитале и текущих прибылях. Инвесторы используют легких агентов двух типов: 1) агентов-разведчиков и 2) агентов намерений, с помощью которых инвесторы решают, какой капитал вложить в тех или иных производителей.

**Ключевые слова:** честная экономика, многоагентная система, инвесторы, производители, метод муравьиных колоний

## Общая схема модели

В настоящей работе предлагается многоагентная модель конкурентной прозрачной экономики. Модель основана на подходе работ [1,2], в которых использовался метод легких агентов-посланников (аналогов муравьев) для оптимизации работы производственного цеха и маршрутизации движения автомобилей в городе. Путем компьютерного моделирования в этих работах показаны эффективность использованного в них метода. Фактически в [1,2] использовался известный метод оптимизации с помощью муравьиных колоний, которых муравьи-разведчики находят маршруты к пище и помечают выбранные маршруты с помощью пахучего вещества феромона.

Принципы функционирования настоящей модели состоят в следующем. Имеется сообщество, состоящее из  $N$  инвесторов и  $M$  производителей, каждый из которых имеет определенный капитал. Время  $t$  дискретно. Инвесторы каждый такт времени  $t$  могут генерировать легких агентов-посланников двух типов: агентов-разведчиков и агентов намерений. Производители вкладывают свой капитал в производство и получают определенную прибыль. При этом производители информируют сообщество о своем капитале и текущих прибылях. Инвесторы передают весь свой капитал производителям и за это получают определенную долю прибыли. Число инвесторов для каждого производителя достаточно велико, например, 5-10 или более инвесторов. Имеется период  $T$  (характеризующий циклы работы всей системы), включающий в себя большое число тактов времени. Инвесторы передают свой капитал производителям в начале периода, а конце периода получают свою долю прибыли. Причем определенно-

---

\* Статья публикуется в порядке дискуссии

## Модель прозрачной конкурентной экономики

му инвестору отдается часть, пропорциональная сделанному рассматриваемым инвестором вкладу в данного производителя. Перед окончанием периода  $T$  (например, в течение нескольких дней в конце года) инвесторы определяют, в каких производителях они будут делать вклад в следующий период, и какой будет этот вклад. При этом инвесторы сначала рассылают агентов-разведчиков, которые оценивают, какую прибыль можно получить от того или иного производителя в следующий период, затем на основе полученной информации инвесторы предварительно определяют, какой капитал они намерены вложить в того или иного производителя в следующий период. Информацию о своих намерениях инвесторы рассылают производителям с помощью агентов намерений. Основываясь на этой информации о намерениях инвесторов, производители переоценивают свой капитал на следующий период. После чего инвесторы вновь рассылают агентов-разведчиков и агентов намерений и итеративный процесс оценки прибылей и вкладываемых капиталов повторяется. После окончания итераций инвесторы окончательно распоряжаются вкладами в производителей, полагая их такими, какие они были намечены на последней итерации.

Изложим модель подробнее.

### Распределение прибыли в конце периода

Считаем, что в конце периода  $T$  (например, в конце года) производитель возвращает инвесторам капитал, вложенный инвесторами в данного производителя, и, кроме этого, отдает инвесторам часть полученной в течение периода прибыли. Производитель также регулярно оповещает всех возможных инвесторов о своем капитале (например, каждую неделю, каждый месяц, каждый квартал). Перед началом периода  $i$ -й производитель имеет исходный капитал  $C_{i0}$ .

Величина прибыли  $Pr_i$ , получаемая  $i$ -м производителем за период  $T$ , зависит от внесенного им в начале периода капитала. Для простоты считаем, что в начале периода  $i$ -й производитель вносит в свое производство весь свой капитал  $C_i$ , равный сумме своего исходного капитала  $C_{i0}$  и капиталов, вкладываемых всеми инвесторами:

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

где  $C_{ij}$  – капитал, вложенный  $j$ -м инвестором в  $i$ -го производителя в начале рассматриваемого периода. Считаем, что зависимость прибыли, получаемой в конце периода, от текущего капитала  $Pr_i(C_i)$  нелинейная: прибыль мала при малом капитале  $C_i$  и достигает насыщения или очень медленно возрастает при большом  $C_i$ . Более конкретно, считаем, что  $Pr_i(C_i) = k_i F(C_i)$ , где функция  $F$  одинакова для всех производителей, а коэффициент  $k_i$  характеризует эффективность производства  $i$ -го производителя. Например,  $F(x)$  может иметь вид

$$F(x) = \frac{x^2}{x^2 + a^2}, \text{ где } a - \text{положительный параметр.}$$

Для простоты считаем, что в прибыли уже учитываются налоги, т.е. прибыль считается за вычетом налогов.

В конце периода часть полученной прибыли, получаемой производителем, отдается в форме выплат инвесторам. Считаем, что общая доля прибыли, распределяемая в форме выплат инвесторам, равна  $k_{\text{выпл}} Pr_i(C_i)$ ,  $0 < k_{\text{выпл}} < 1$ . Причем  $j$ -му инвестору отдается часть  $Pr_{ij}$ , пропорциональная сделанному рассматриваемым инвестором вкладу  $C_{ij}$  в данного производителя, эта часть равна:

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

где  $C_i$  – капитал  $i$ -го производителя в начале периода,  $k_{\text{выпл}}$  – параметр, характеризующий долю выплат прибыли инвесторам. Сам производитель получит прибыль  $Pr_i$ , равную:

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

### Итеративные оценки инвесторов перспективности вложений на следующий период

Перед окончанием периода  $T$  (например, в течение нескольких дней в конце года) агенты-инвесторы определяют, в каких производителях они будут делать вклад в следующий период, и какой будет этот вклад. Осуществляется это следующим образом.

Каждый такт времени инвесторы оценивают, какая прибыль может быть получена при возможном распределении вкладов в производителей. Для того чтобы сделать такую оценку, инвестор рассылает агентов-разведчиков по всем агентам-производителям, и определяет: какой капитал в рассматриваемый момент времени имеет каждый из рассматриваемых производителей. Зная величину текущего капитала каждого производителя, инвестор оценивает ожидаемую величину прибыли в течение нового периода  $T$  для данного производителя. Величины  $k_i$  инвесторы определяют согласно предыдущей зависимости от времени капитала производителей, которые регулярно информируют всех возможных инвесторов о своем капитале и текущей прибыли. Отметим, что если производитель новый, т.е. предыдущей зависимости капитала от времени у него не было, величины  $k_i$  для него оцениваются с помощью экспертных оценок.

Далее инвестор формирует намерения вложить определенный капитал в производителей. Эти намерения формируются следующим образом. Весь имеющийся у инвестора капитал планируется распределить по  $m$  производителям ( $m \ll M$ ). Сначала определяются величины, характеризующие прибыль, ожидаемую от  $i$ -го производителя. Эти величины  $A_{ij}$  равны (см. выражение (2)):

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

## Модель прозрачной конкурентной экономики

где  $C_{il}$  – капитал, вкладываемый  $l$ -м инвестором в  $i$ -го производителя перед началом нового периода,  $C'_{i0}$  – исходный капитал  $i$ -го производителя, равный имеющемуся у данного производителя капиталу к началу следующего периода,  $k_{dist} = k_+$  либо  $k_-$ ,  $k_+ > k_-$ .

Положительные параметры  $k_+$ ,  $k_-$  определяют инерцию вкладов: эти параметры учитывают то, что инвестору нецелесообразно переводить капитал к новым производителям. А именно, полагаем, что  $k_{dist} = k_+$ , если данный  $j$ -й инвестор уже ранее вкладывался в  $i$ -го производителя, и  $k_{dist} = k_-$ , если  $j$ -й инвестор не вкладывался в  $i$ -го производителя. Например, можно положить  $k_- = 1$ ,  $k_+ = 2$ , это означает, что инвестор предпочитает проверенных им производителей и ожидает, что проверенный производитель даст прибыль в 2 раза более надежно, чем непроверенный.

При этом на первой итерации предполагается, что  $C'_{i0}$  – исходный капитал  $i$ -го производителя, равный имеющемуся у данного производителя капиталу к началу следующего периода пока без вкладов инвесторов (этот капитал используется в функции  $F$  в (4)), а в сумме вкладов от всех инвесторов учитывается только вклад от рассматриваемого  $j$ -го инвестора. Т.е. на первой итерации дробь в (4) равна 1.

Далее все производители ранжируются в соответствии с величинами  $A_{ij}$ , и выбирается  $m$  наиболее выгодных производителей, т.е. тех производителей, для которых величины  $A_{ij}$  принимают значения большие, чем у других производителей. Затем по всем выбранным производителям распределяется капитал  $j$ -го инвестора пропорционально величинам  $A_{ij}$ .

На этом первая итерация заканчивается.

На следующей итерации каждый инвестор рассылает агентов намерений тем производителям, которых он выбрал для инвестиций, и указывает тот капитал, который он намеревается вложить в каждого из производителей. После этого производители оценивают свой новый исходный капитал  $C'_{i0}$ , который они ожидают после получения капитала от всех инвесторов, а также определяют, какие инвесторы и сколько намерены вложить в данного производителя. Второе означает, что у производителя формируется оценка суммы  $\sum_{i=1}^N C_{ii}$ .

Далее инвесторы снова посылают агентов-разведчиков всем производителям, которые оценивают капитал производителей  $C'_{i0}$  с учетом намерений инвесторов. Инвесторы снова делают оценки прибылей, используя формулу (4). Теперь уже исходный капитал производителя  $C'_{i0}$  возрастает с учетом вложений всех инвесторов, а также учитываются возможные вклады от всех инвесторов в сумме  $\sum_{i=1}^N C_{ii}$ . Определяются намерения распределения капитала инвесторами описанным выше образом и высылаются агенты намерений, которые указывают производителям новые значения предлагаемых им капиталов. Затем итерации, включающие рассылку инвесторами агентов-разведчиков, оценку инвесторами распределения капитала по производителям и рассылку ими агентов намерений, указывающих производителям намечаемые величины вложений повторяются.

Делается достаточно большое число итераций, после чего итерации заканчиваются.

Важный вариант модификации намерений инвесторов: выбранные на предыдущей итерации намерения меняются не сразу, а постепенно, в течение нескольких итераций. Это аналогично тому, как выбранные и помеченные муравьями феромоном маршруты при съедании в определенных местах пищи постепенно меняются в результате испарения феромона.

Также отметим возможный вариант учета производителями величин капиталов  $C'_{i0}$ : усреднение этих величин по нескольким последним итерациям (а не просто оценка согласно последней итерации). При таком варианте можно ожидать, что итеративный процесс будет более надежно сходиться.

После окончания итераций инвестор окончательно распоряжается своими вкладами, полагая их такими, какие были намечены на последней итерации.

Изложенный итеративный процесс в конце каждого периода  $T$  повторяется.

Отметим, что аргументом в пользу того, что изложенный итеративный процесс будет сходиться, служит положительный опыт близких работ [1,2] и сходимость аналогичных процессов в реальных колониях муравьев.

Число инвесторов и число производителей может меняться со временем. Некоторые производители и инвесторы могут прекращать свою деятельность, а некоторые могут дублироваться. Схема моделирования этого такова. Если капитал инвестора или производителя стал меньше малого порога  $Th_{min\_inv}$  или  $Th_{min\_pr}$ , то инвестор или производитель прекращает свою деятельность. Если такой капитал стал больше большого порога  $Th_{max\_inv}$  или  $Th_{max\_pr}$ , то инвестор или производитель делится пополам, в том числе делится пополам капитал инвестора/производителя.

## Заключение

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

**Благодарность.** Автор благодарен О.В. Редько за 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. V. 4389, 2007. PP. 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. V. 12. PP. 364-373.

Статья поступила 28 августа 2012 г.