

УДК 519.865.3
ББК 22.18+65.42

ИНФОРМАЦИОННОЕ РАВНОВЕСИЕ В МОДЕЛИ ДИНАМИКИ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ НА КОНКУРЕНТНОМ РЫНКЕ

Алгазин Г.И.¹, Алгазина Д.Г.²

(Алтайский государственный университет, г. Барнаул)

Приведенная в статье динамическая модель рефлексивного поведения позволяет в рамках единого подхода описывать и прогнозировать взаимодействия на конкурентном рынке агентов Курно и/или Штакельберга при отсутствии у них общего знания. Теоретическую основу подхода составляют теория игр и теория коллективного поведения, а также их применение для исследования поведения разноинформированных рациональных агентов и сходимости динамических процедур к равновесию Нэша.

Ключевые слова: информированность агентов, информационное равновесие, коллективное поведение, конкурентный рынок, равновесие Нэша, агент Курно, агент Штакельберга

1. Введение

В теории игр полагается, что одинаково информированные рациональные агенты выбирают одинаковые действия. Поэтому при повторении игры, если все ее условия являются общим знанием среди агентов и не меняются, агенты выберут те же действия. Такого рода равновесие естественным образом пони-

¹Геннадий Иванович Алгазин, доктор физико-математических наук, профессор (algaz46@yandex.ru).

²Дарья Геннадьевна Алгазина, кандидат технических наук, старший преподаватель (darya.algazina@mail.ru).

мается как истинное, так как основано на адекватных представлениях всех игроков о реальности [9].

Однако в некоторых случаях при повторении игры рациональные агенты могут выбирать те же действия и при различной информированности. Так агент может поступать, если в предыдущих играх он наблюдает тот результат, которого ожидал. Такого рода равновесие может иметь место и при ложной информированности агентов, т.е. являться ложным информационным равновесием. Но более правдоподобной является ситуация, когда при однократном проведении игры какие-то из игроков (или даже все) наблюдают не тот результат, на который рассчитывали. Тогда нет и ложного равновесия, и при повторе игры действия игроков могут измениться [9, 13].

В ряде игровых моделях разноинформированные агенты могут в динамике (за счет повторения игры) прийти к истинному информационному равновесию. В работе [13] приводятся несколько таких примеров, в том числе модели рынка Курно.

В данной статье рассмотрен другой известный пример теоретико-игровой модели конкурентного рынка, характерной особенностью которого является линейный вид функций затрат агентов и обратной функции спроса [4–6, 11, 12 и др.]. В игре агенты выбирают действия однократно, одновременно и независимо. Игра повторяется. Будем также полагать, что агенты имеют неверные исходные представления о затратах других агентов и могут от игры к игре изменять свои действия и представления с целью прийти к истинному информационному равновесию – равновесию Нэша с истинными значениями затрат агентов. Будут рассмотрены три модели поведения агентов на рынке: 1) все агенты действуют по Курно; 2) первый агент действует по Штакельбергу, остальные – по Курно; 3) все агенты действуют по Штакельбергу.

2. Базовая модель конкурентного рынка

Рассматривается конкурентный рынок однородного товара, состоящий из n фирм-агентов, которые непосредственно занимаются доведением товаров (услуг) до потребителей. К ним относятся торговые точки, предприятия сферы услуг (сети

гостиниц, ресторанов быстрого питания и т.п.) или фирмы производители. Поэтому таких участников рынка будем далее называть агентами или просто фирмами, не различая их как фирмы-производители, торговые точки или предприятия сферы услуг.

Под действием i -го агента будем понимать выбор объема q_i товара, объема оказываемых агентом услуг, объема реализованного товара населению и бизнесу или объема произведенного и реализованного на рынке товара (услуги). Полагаем также, что любое предложение агента на рынке будет реализовано.

Агент реализует товар (услугу) потребителю по цене p . Величина выручки (дохода) агента составляет $(1-k)pq_i$, где k – коэффициент (параметр), определяющий величину налога, аренды, сервисной платы (роялти), которая устанавливается для агента в обмен за права на бизнес ($0 \leq k < 1$). Значение параметра k в данной модели полагается фиксированным. Предполагается также, что агенты обладают эксклюзивными правами на данный бизнес в рамках определенной территории.

Формально интересы фирмы-агента можно записать в виде целевых установок на максимизацию собственной прибыли:

$$(1) \quad \Pi_i(p(Q), q_i, k) = (1-k)p(Q)q_i - \phi_i(q_i) \rightarrow \max_{q_i}, \quad i=1, \dots, n.$$

Рынок товара (услуг) традиционно описывается невозрастающей функцией спроса. В выражении (1) используется обратная функция спроса, т.е. функция цены $p(Q)$, которая складывается на рынке при общем объеме предложения на рынке товара (услуг) $Q = \sum_{i=1}^n q_i$. Учитывается, что p и Q связаны взаимно однозначной зависимостью, а технически удобнее в качестве аргумента рассматривать Q .

Полагаем, что цена продукции и затраты субъектов определяются следующими выражениями:

$$(2) \quad p(Q) = a - bQ, \quad \phi_i(q_i) = c_i q_i + d_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Здесь цена продукции – линейная функция общего объема выпуска агентами, т.е. цена не является фиксированной, она определяется общим уровнем предложения на рынке, а агенты могут наблюдать лишь сложившиеся цены на рынке; a – спрос на продукцию; b – снижение цены при увеличении на единицу

общего выпуска; издержки фирм $\phi_i(q_i)$ являются также линейными функциями, зависящими только от объема выпуска самого агента, а c_i – предельные переменные издержки; d_i – постоянные издержки фирм.

Используемая здесь модель имеет простой, но адекватный вид для описания достаточно широкого разнообразия конкурентных систем. Важное достоинство приведенной базовой модели состоит также в том, что при обычных для моделей олигополии предположениях о линейности функций затрат и обратной функции спроса, дает возможность аналитического представления и исследования решения. Поэтому она является конструктивной для получения конкретных результатов, их содержательной интерпретации и допускает различные модификации [1–6, 11, 12 и др.].

Оптимальный объем активности фирмы-агента определяется из условия

$$\frac{\partial \Pi}{\partial q} = (1-k) \cdot \frac{\partial p}{\partial q} \cdot q + (1-k) \cdot p - \phi'(q) = 0.$$

Из этого условия следует равенство

$$(3) \quad \frac{\partial p}{\partial q} = \frac{1}{q} \cdot \left(\frac{\phi'(q)}{1-k} - p \right).$$

Тогда из (3) с учетом (2) имеем $\frac{\partial p}{\partial q_i} = -b \cdot \frac{\partial Q}{\partial q_i} =$
 $= \frac{1}{q_i} \cdot \left(\frac{c_i}{1-k} - a + b \cdot Q \right)$, или $1 + \frac{\partial Q_{-i}}{\partial q_i} = \frac{1}{q_i} \cdot h_i - 1 - \frac{1}{q_i} \cdot Q_{-i}$, где использованы обозначения:

$$(4) \quad h_i = \frac{a - \frac{c_i}{1-k}}{b},$$

$$(5) \quad Q_{-i} = \sum_{j \neq i} q_j.$$

Получаем $q_i \cdot \left(2 + \frac{\partial Q_{-i}}{\partial q_i} \right) = h_i - Q_{-i}$, и окончательно:

$$(6) \quad q_i = \frac{h_i - Q_{-i}}{2 + \frac{\partial Q_{-i}}{\partial q_i}} \quad \text{для } i = 1, \dots, n.$$

В базовой модели полагаем, что агенты не кооперируются друг с другом. Однако наличие конкуренции между агентами за максимальную прибыль и долю рынка определяет необходимость для каждого агента принимать во внимание поведение агентов-конкурентов.

3. Модель рынка Курно и коллективное поведение

Предположение Курно относительно объемов выпуска сводится к тому, что каждая фирма действует так, как, будто она не ожидает от своих конкурентов изменения объемов выпуска, даже если она сама сделает это.

Формально предположение Курно можно записать в виде условий [1–3, 6 и др.]

$$(7) \quad \frac{\partial Q_{-i}}{\partial q_i} = 0, \quad i = 1, \dots, n.$$

Тогда из (6) следует $q_i = \frac{h_i - Q_{-i}}{2}$, или

$$(8) \quad q_i = h_i - Q, \quad i = 1, \dots, n.$$

Суммируя по индексу i ($i = 1, \dots, n$) левые и правые части полученных равенств (8), имеем: $\sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n h_i - nQ$, или

$$Q = \sum_{i=1}^n h_i - nQ, \text{ и в итоге } Q = \frac{1}{n+1} \cdot \sum_{i=1}^n h_i.$$

Далее согласно (8) получаем активность (действие) агента, которая рассчитывается по формуле:

$$(9) \quad q_j = \frac{1}{(n+1)b} \left(a + \frac{\sum_{i=1}^n c_i - (n+1)c_j}{1-k} \right), \quad j = 1, \dots, n.$$

Таким образом, если агенты имеют правильные представления о затратах конкурентов, то по (9) можно найти такой наблюдаемый вектор действий (активностей) $(q_1, q_2, \dots, q_n)$,

который будет являться истинным стабильным информационным равновесием – равновесием Нэша.

Согласно (8) также имеем

$$(10) \quad c_j = (1-k)(a - b(Q + q_j)), \quad j = 1, \dots, n.$$

Агенты, выбирая свои действия, могут иметь неверные исходные представления о затратах других агентов. Оказывается, что в этом случае агенты, наблюдая выбираемые действия, могут в динамике прийти к истинному информационному равновесию.

В этом разделе ниже для рынка Курно приводится такая динамическая процедура уточнения представлений агентов о затратах конкурентов, использующая подходы теории коллективного (группового) поведения [7, 8, 10, 13].

1) Каждый из агентов независимо от других рассчитывает свое действие (q_j^{t-1}), которое максимизировало бы его прибыль, подставляя в (9) свои собственные затраты (c_j) и свои последние представления о затратах других агентов (c_{ji}^{t-1}), $t = 1, 2, \dots$. При расчете учитывается, что свои собственные затраты он знает точно, т.е. $c_{jj}^{t-1} = c_j$ и

$$(11) \quad q_j^{t-1} = \frac{1}{(n+1)b} \left(a + \frac{\sum_{i=1}^n c_{ji}^{t-1} - (n+1)c_j}{1-k} \right), \quad j = 1, \dots, n.$$

Примечание: полагаем, что в равновесии Курно и в процедуре уточнения представлений участвуют только конкурентоспособные агенты, т.е. для которых в формуле (9) выполнено условие $q_j > 0$ [6]. Агентам полностью доступна информация о параметрах цены a и b , параметре k и числе агентов на рынке n . Также полагаем, что если в формуле (11) начальные представления о затратах других агентов (c_{ji}^0) у некоторого j -го агента таковы, что $q_j^0 \leq 0$, то этот агент не уходит с рынка и использует собственные возможности их уточнения так чтобы получить $q_j^0 > 0$. В отличие от начальных для последующих представлений агентов выполнение условий $q_j^{t-1} > 0$, $t = 2, 3, \dots$ гарантируется приводимой здесь процедурой уточнения представлений. Соответствующие пояснения приведены в абзаце после п.3 процедуры.

2) Используя полученный в п.1 наблюдаемый вектор действий агентов $(q_1^{t-1}, q_2^{t-1}, \dots, q_n^{t-1})$ и полагая, что в текущем t -ом периоде все агенты выберут те же действия как и в предыдущем $t-1$ -ом периоде, каждый i -ый агент рассчитывает свои текущие представления о затратах своих конкурентов из условия максимизации его целевой функции по формуле

$$(12) \quad v_{ij}^{t-1} = (1-k)(a - b(\sum_{i=1}^n q_i^{t-1} + q_j^{t-1})).$$

Эти представления будут одинаковы для разных агентов, поскольку все они наблюдают одни и те же действия, т.е.

$v_{ij}^{t-1} = v_j^{t-1}$ при $i \neq j$. Поскольку затраты агентов не могут быть отрицательными далее полагаем $w_j^{t-1} = \max\{v_j^{t-1}, 0\}$.

3) В соответствии с аксиомой индикаторного поведения каждый i -ый агент изменяет свои представления за предыдущий $t-1$ -ый период о затратах j -го агента, делая от них шаг по направлению к текущим значениям w_j^{t-1} по формуле

$$(13) \quad c_{ij}^t = c_{ij}^{t-1} + \gamma_i^t (w_j^{t-1} - c_{ij}^{t-1}),$$

где $\gamma_i^t \in [0;1]$ – параметры, определяющие величины шагов.

Затем процесс повторяется с п.1.

Покажем, что объемы выпуска агентов, рассчитанные по затратам c_{ji}^1 , строго положительны. По исходным предположениям в формуле (12) используются строго положительные объемы выпуска. Эта формула приводится к эквивалентной формуле (9) для j -го агента с собственными затратами c_j и затратами других агентов v_j^0 ($j \neq i$). Замена в формуле затрат v_j^0 на w_j^0 только может увеличить ее правую часть. Поэтому, рассчитанные в п.1 по формуле (11) объемы выпуска в первом периоде по значениям затрат c_{ji}^1 (полученным по формуле (13)), будут также строго положительны. Аналогичным образом показывается строгая положительность выпуска агентами в каждом периоде.

В теории коллективного поведения c_j называют положением цели, а w_j^{t-1} – текущим положением цели i -го агента ($i \neq j$) [7]. Обозначим через $\Phi = (\Phi_1, \dots, \Phi_n)$ оператор, связывающий представления агентов о затратах за $t-1$ -ый и t -ый периоды, использующий последовательно формулы (11), (12), (13).

Теоретические основы возможности и целесообразности применения теории коллективного поведения для исследования поведения рациональных агентов и сходимости процедуры (13) к равновесию Нэша в нашей модели основано на следующих результатах А1 – А3:

А1. Если оператор $c^t = \Phi(c^{t-1})$ непрерывен и фиксированная последовательность $\{\gamma_i^t\}$ удовлетворяет условию $\forall i: \sum_t \gamma_i^t = \infty$, то последовательность c_{ij}^t , порождаяемая процедурой (11)–(13), не может сходиться к точке, которая не является неподвижной точкой оператора Φ [7].

А2. Модель рынка (1), (2), (7) является положительно гомогенной системой. Положительная гомогенность означает, что каждому игроку для поддержания оптимума своего выигрыша приходится отвечать увеличением собственного усилия на увеличение усилия остальных игроков. В нашей модели прибыль агента дается выражением (1). Используя исходные и полученные выражения для Q , $p(Q)$, q_i и $\phi_i(q_i)$, нетрудно получить (см. например [1, 2]), что

$$\Pi_j = \frac{1-k}{(n+1)^2 b} \left(a + \frac{\sum_{i=1}^n c_i - (n+1)c_j}{1-k} \right)^2 - d_j, \quad j = 1, \dots, n.$$

Отсюда видно, что j -агенту для сохранения прибыли на том же уровне при уменьшении (увеличении) затрат другими агентами c_i ($i \neq j$) следует уменьшить (увеличить) собственные затраты c_j .

Для положительно гомогенных систем с дискретным временем, имеющим единственную неподвижную точку, любая невырожденная траектория (т.е. которая характеризуется тем, что $\forall i: \sum_t \gamma_i^t = \infty$) сходится к неподвижной точке независимо от начального положения [7].

А3. Равновесие Нэша, соответствующее правильным представлениям агентов о затратах конкурентов, в данной игре в нормальной форме существует и задается равенствами (9) и (10). Тогда, на основании сказанного, оно находится и как рав-

новесие динамики коллективного поведения гомогенных систем в виде неподвижной точки оператора Φ .

Случай $\gamma_i^t \equiv 1$ означает, что в каждый период каждый агент делает «полный» шаг и выбирает рациональные действия (максимизирующие его целевую функцию) в рамках имеющихся у него представлений о других агентах. Как показали проведенные эксперименты на нашей модели, в этом случае получаемая динамика не является устойчивой.

В проведенных ниже численных примерах мы полагаем, что агенты делают «укороченные» шаги, равные $\gamma_i^t \equiv 0,5$. Приведенные иллюстрации указывают на достаточно быструю сходимость соответствующих процедур при таких значениях параметров.

Кроме того, пусть в иллюстративном численном примере $n = 2$; $b = 0,1$; $k = 0,5$; $a = 100$; $c_1 = c_2 = 10$.

На рис. 1, рис. 2 и рис. 3 приведены, соответствующие этим данным, графики динамики представлений агентов, действующих по Курно.

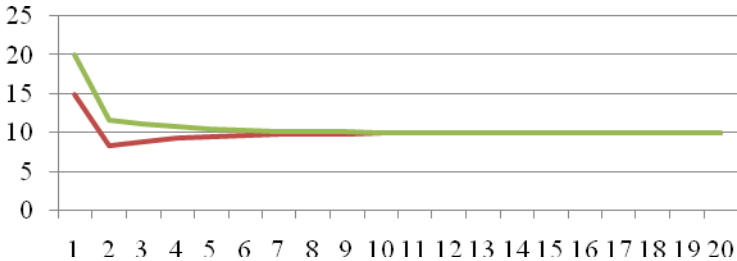


Рис.1. Агенты первоначально переоценивают затраты друг друга ($c_{21} = 20$ и $c_{12} = 15$)

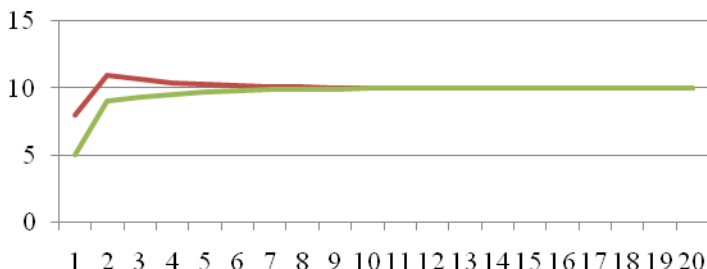


Рис.2. Агенты первоначально недооценивают затраты друг друга ($c_{21} = 8$ и $c_{12} = 5$)

Процесс на рис. 1 и рис. 2 уже после первого шага приобретает монотонный характер.

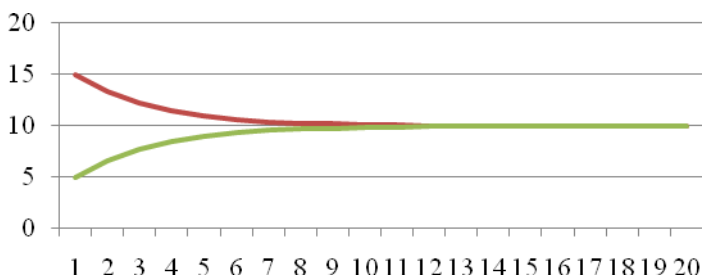


Рис.3. Второй агент первоначально переоценивает затраты первого, а первый недооценивает затраты второго ($c_{21} = 15$ и $c_{12} = 5$)

4. Модель рынка Курно с агентом Штакельберга и коллективное поведение

Один из агентов занимает лидирующее положение среди остальных агентов так, что он, выбирая свою активность (объем выпуска), точно знает реакцию (уровень активности) на его выбор остальных агентов. Агента, выбирающего свои действия по такому правилу, называют фирмой Штакельберга. Остальные агенты, как и раньше, максимизируют собственную прибыль,

основываясь на предположении Курно о неменяющейся активности других агентов.

Пусть для определенности первый агент придерживается предположений Штакельберга, полагая, что все другие фирмы будут действовать по Курно. Тогда из $dq_i = 0$ и $dQ_{-i} = 0$ при $i = 2, \dots, n$ имеем условие (7) $\frac{\partial Q_{-i}}{\partial q_i} = 0$, а также $q_i = \frac{h_i - Q_{-i}}{2}$,

где h_i определяется по формуле (4).

Из последнего равенства следует:

$$\frac{\partial q_i}{\partial q_1} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial Q_{-i}}{\partial q_1} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial Q}{\partial q_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial q_i}{\partial q_1} = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial Q_{-1}}{\partial q_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial q_i}{\partial q_1},$$

или $\frac{\partial q_i}{\partial q_1} = -1 - \frac{\partial Q_{-1}}{\partial q_1}$, при $i = 2, \dots, n$.

Суммируя левые и правые части последних равенств по i ($i = 2, \dots, n$), получаем, что $\frac{\partial Q_{-1}}{\partial q_1} = -(n-1) - (n-1) \cdot \frac{\partial Q_{-1}}{\partial q_1}$, т. е.

$$(14) \quad \frac{\partial Q_{-1}}{\partial q_1} = -\frac{n-1}{n}.$$

$$\text{Тогда } q_1 = \frac{h_1 - Q_{-1}}{2 - \frac{n-1}{n}}, \text{ или } q_1 = \frac{n \cdot (h_1 - Q + q_1)}{n+1},$$

$$(15) \quad q_1 = n \cdot h_1 - n \cdot Q.$$

А для остальных агентов ($i = 2, \dots, n$), действующих по Курно, имеет место условия (7).

Суммируя левые и правые части равенств (7) по i ($i = 2, \dots, n$), а затем с (15), получаем: $Q = (n-1) \cdot h_1 + \sum_{i=1}^n h_i - (2n-1) \cdot Q$. Используя ранее введенные обозначения для h_1 и h_i , получаем формальное выражение для Q . Тогда по (15) и (7) имеем:

$$(16) \quad q_1 = \frac{1}{2b} \cdot \left(a + \frac{\sum_{i=1}^n c_i - (n+1)c_1}{1-k} \right).$$

$$(17) \quad q_j = \frac{1}{2nb} \cdot \left(a + \frac{\sum_{i=1}^n c_i - 2nc_j + (n-1)c_1}{1-k} \right), j = 2, \dots, n.$$

По (14) также имеем

$$(18) \quad c_1 = (1-k)(a - b(Q + q_1/n)),$$

Остальные c_j ($j = 2, \dots, n$) вычисляются по формуле (10).

Соответствующая модель динамики уточнения представлений агентов о затратах конкурентов имеет вполне очевидные особенности: 1) q_1^{t-1} вычисляется по формуле (16) в соответствии с текущими представлениями первого агента о затратах конкурентов, а q_i^{t-1} ($i = 2, \dots, n$) вычисляются по формуле (17); 2) $v_1^{t-1} = (1-k)(a - b(\sum_{i=1}^n q_i^{t-1} + q_1^{t-1}/n))$, а v_j^{t-1} ($j = 2, \dots, n$) вычисляются по формуле (12).

Для данной модели рынка имеют место условия, обеспечивающие сходимость динамической процедуры к равновесию Нэша, аналогичные условиям А1 – А3.

Так положительная гомогенность модели рынка следует из соответствующих выражений для прибыли первого и остальных агентов (их формальный вывод несложен и можно посмотреть, например, в [1, 2]):

$$\Pi_1 = \frac{1-k}{4nb} \cdot \left(a + \frac{\sum_{i=1}^n c_i - (n+1)c_1}{1-k} \right)^2 - d_1;$$

$$\Pi_j = \frac{1-k}{4n^2b} \cdot \left(a + \frac{\sum_{i=1}^n c_i - 2nc_j + (n-1)c_1}{1-k} \right)^2 - d_j, j = 2, \dots, n.$$

На рис. 4–7 приведены графики динамики представлений двух агентов, первый из которых действует по Штакельбергу, второй – по Курно.

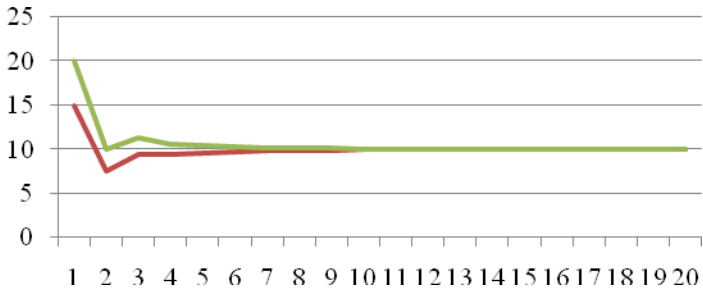


Рис.4. Агенты первоначально переоценивают затраты друг друга ($c_{21} = 20$ и $c_{12} = 15$)

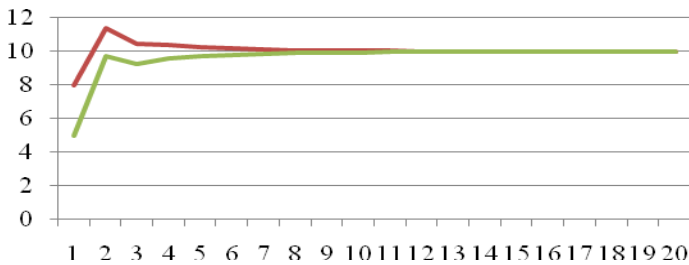


Рис. 5. Агенты первоначально недооценивают затраты друг друга ($c_{21} = 8$ и $c_{12} = 5$)

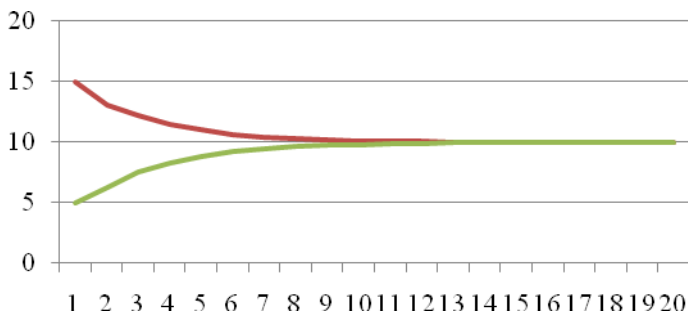


Рис. 6. Второй агент первоначально переоценивает затраты первого, а первый недооценивает затраты второго ($c_{21} = 15$ и $c_{12} = 5$)

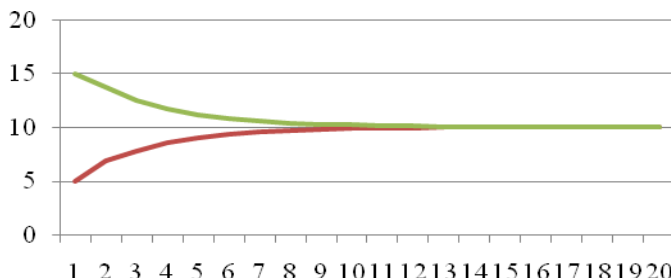


Рис. 7. Второй агент первоначально недооценивает затраты первого, а первый переоценивает затраты второго ($c_{21} = 5$ и $c_{12} = 15$)

5. Модель рынка только с агентами Штакельберга и коллективное поведение

Пусть все фирмы действуют по Штакельбергу, т. е. каждая фирма считает, что все другие действуют по Курно. Такая ситуация называется неравновесием по Штакельбергу.

В этом случае, как для первой фирмы, так и для всех остальных будут выполняться соотношения:

$$(19) \quad \frac{\partial Q_{-i}}{\partial q_i} = -\frac{n-1}{n}, \quad \text{при } i = 1, \dots, n,$$

и согласно (4) и (5) имеем, что $q_i = \frac{h_i - Q_{-i}}{2 - \frac{n-1}{n}} = \frac{n}{n+1} \cdot (h_i - Q + q_i)$.

Далее следует:

$$(20) \quad q_i = n \cdot (h_i - Q).$$

Суммируя по индексу i левые и правые части равенств (20), получаем: $Q = n \cdot \sum_{i=1}^n h_i - n^2 \cdot Q$ и $Q = \frac{n}{(n^2 + 1) \cdot b} \cdot \left(na - \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{1-k} \right)$.

При правильных представлениях агентов об условиях игровой ситуации с учетом (20) можно получить следующие аналитические выражения для активности агентов и их затратах:

$$(21) \quad q_j = \frac{n}{(n^2 + 1)b} \cdot \left(a + \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n c_i - (n^2 + 1)c_j}{1 - k} \right),$$

$$(22) \quad c_j = (1 - k)(a - b(Q + q_j / n)), \quad j = 1, \dots, n.$$

Тогда в модели динамики уточнения представлений агентов о затратах конкурентов q_j^{t-1} вычисляются по формуле (21), а $v_j^{t-1} = (1 - k)(a - b(\sum_{i=1}^n q_i^{t-1} + q_j^{t-1} / n))$.

Аналогично доказывается, что данная динамическая процедура сходится к равновесию Нэша. Свойство положительной гомогенности модели рынка следует из следующих соотношений прибыли для агентов [1, 2]

$$\Pi_j = \frac{n \cdot (1 - k)}{(n^2 + 1)^2 \cdot b} \cdot \left(a + \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n c_i - (n^2 + 1)c_j}{1 - k} \right)^2 - d_j, \quad j = 1, \dots, n.$$

На рис. 8, рис. 9 и рис. 10 приведены графики динамики представлений агентов, действующих по Штакельбергу.

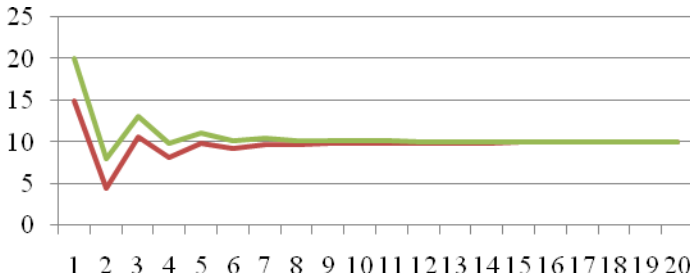


Рис. 8. Агенты первоначально переоценивают затраты друга ($c_{21} = 20$ и $c_{12} = 15$)

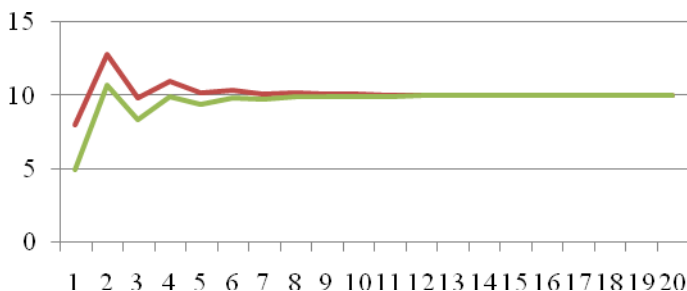


Рис. 9. Агенты первоначально недооценивают затраты друга ($c_{21} = 8$ и $c_{12} = 5$)

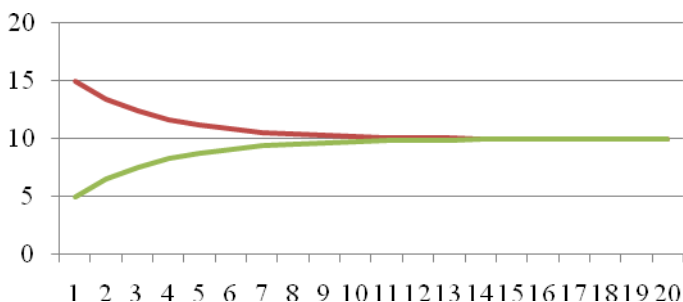


Рис. 10. Второй агент первоначально переоценивает затраты первого, а первый недооценивает затраты второго ($c_{21} = 15$ и $c_{12} = 5$)

6. Заключение

В статье рассматриваются теоретические основы возможности и целесообразности применения моделей теории игр и теории коллективного поведения для исследования процессов достижения равновесия рациональными агентами на конкурентном рынке в условиях неполной информированности и отсутствия общего знания.

Рассмотрены три модели поведения агентов на рынке: 1) все агенты действуют по Курно; 2) первый агент действует по

Штакельбергу, остальные – по Курно; 3) все агенты действуют по Штакельбергу.

В этих моделях действия агентов существенным образом зависят от взаимных представлений агентов относительно предельных переменных издержек других агентов. Показано, что агенты, априори не располагая соответствующей достоверной информацией, могут, наблюдая выбираемые агентами действия, при повторении игры прийти к равновесию Нэша с истинными значениями затрат агентов.

Для этих моделей приведена единая динамическая процедура уточнения представлений агентов о затратах конкурентов, использующая подходы теории коллективного (группового) поведения. Приведены условия на параметры модели рынка, гарантирующие сходимость к равновесию Нэша динамической процедуры. Обсуждается выполнимость этих условий для каждой из трех моделей. Приведены иллюстративные численные примеры.

Литература

1. АЛГАЗИН Г.И., АЛГАЗИНА Д.Г. *Моделирование многоагентных франчайзинговых систем*: монография. – Барнаул: АлтГУ, 2009. – 91 с.
2. АЛГАЗИН Г.И., АЛГАЗИНА Д.Г. *Моделирование сетевого взаимодействия на конкурентных рынках*// Управление большими системами: сборник трудов. – М.: ИПУ РАН. – 2013. – №43. – С. 172–216.
3. АЛГАЗИН Г.И., АЛГАЗИНА Ю.Г. *Моделирование поведения экономических агентов в системе «производитель–посредник–конкурентный рынок»*// Управление большими системами: сборник трудов. – М.: ИПУ РАН. – 2011. – №32. – С. 83–108.
4. БУЛАВСКИЙ В.А. *Модель олигополии с рынками производственных факторов*// Экономика и математические методы. – 1999. – Т. 35, №4. – С. 78–86.
5. БУЛАВСКИЙ В.А., КАЛАШНИКОВ В.В. *Равновесие и обобщенных моделях Курно и Штакельберга*// Экономика и

- математические методы. – 1995. – Т. 31, вып. 4. – С. 151–163.
6. ДЮСУШЕ О.М. *Статическое равновесие Курно – Нэша и рефлексивные игры олигополии: случай линейных функций спроса и издержек* // Экономический журнал ВШЭ. – 2006. – №1. – С. 3–32.
7. МАЛИШЕВСКИЙ А.В. *Качественные модели в теории сложных систем*. – М.: Наука, 1998. – 528 с.
8. НОВИКОВ Д.А. *Модели стратегической рефлексии* // Автоматика и телемеханика. – 2012. – №1. – С. 3–18.
9. НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Модели рефлексивных игр в задачах управления эколого-экономическими системами* // Управление большими системами: сборник трудов. – М.: ИПУ РАН. – 2015. – №55. – С. 362–372.
10. ОПОЙЦЕВ В.И. *Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения*. – М.: Наука, 1977. – 248 с.
11. HEGJI S.E., MOORE E.C. *On the Economics of Manufacturers and Dealers: A Reexamination* // Southwestern Economic Review. – 2006. – P. 107–120.
12. METZLER C., HOBBS B.S., PANG J.-S. *Nash – Cournot Equilibria in Power Markets on a Linearized DC network with Arbitrage: Formulations and Properties* // Networks and Spatial Economics. – 2003. – Vol. 3, №2. – P. 123–150.
13. NOVIKOV D., CHKHARTISHVILI A. *Reflexion and Control: Mathematical Models*. – Leiden: CRC Press, 2014. – 298 p.

INFORMATION EQUILIBRIUM IN DYNAMIC MODEL OF COLLECTIVE BEHAVIOR IN A COMPETITIVE MARKET

Gennady Algazin, Altai State University, Barnaul, Doctor of Science, professor (algaz46@yandex.ru).

Darya Algazina, Altai State University, Barnaul, Cand. Sc. associated professor (darya.algazina@mail.ru).

Abstract: Given in the article the dynamic model of reflexive behavior allows a unified approach to describe and predict interactions Cournot/Stackelberg agents in the absence of their general knowledge in a competitive market. The theoretical basis of the approach is game theory and the theory of collective behavior and their application to the study of the behavior of falsely informed rational agents and the convergence of dynamic procedures to a Nash equilibrium.

Keywords: awareness of agents, information equilibrium, collective behavior, competitive market, Nash equilibrium, agent Cournot, Stackelberg agent.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*