

## Задачи и модель управления сетевым взаимодействием на конкурентном рынке

*Д.Г. Алгазина, Г.И. Алгазин, Н.М. Оскорбин*

Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

## Objectives and Management Model of Network Interaction in a Competitive Market

*D.G. Algazina, G.I. Algazin, N.M. Oskorbin*

Altai State University (Barnaul, Russia)

Адекватным и перспективным на сегодняшний день математическим аппаратом исследования сетевого взаимодействия между целенаправленными субъектами в сетевых структурах является теория сетевых игр. Сетевые игры в современном понимании – это не только «игры формирования сетей», результатом которых являются сети, связывающие игроков, но и «игры на сетях», в которых сеть фиксирована и определяет зависимость результатов деятельности игроков и/или их выигрышей от действий. На основе базовых положений сетевых игр рассмотрена многоагентная сеть «центр – агент – рынок». Сеть ориентирована на продвижение на конкурентном рынке однородного товара (услуги). Рассмотрен комплекс задач центра, направленных на повышение эффективности функционирования сети в условиях равновесия Курно – Нэша и Штакельберга. Комплекс задач включает задачи оптимизации числа агентов сети, формирования связей, информационной и стратегической рефлексии, мотивационного и институционального управления агентами. Показано взаимодействие игр формирования сети и игр на сети при решении центром задач управления многоагентной сетью «центр – агент – рынок» применительно к франчайзинговым системам.

**Ключевые слова:** сетевые игры, управление сетью, модель «центр – агент – рынок», задачи формирования сети, задачи на сети, франчайзинг.

DOI 10.14258/izvasu(2015)1.1-23

Результаты, полученные в рамках классической теории игр, нашли многочисленные приложения в управлении организациями. Вместе с тем многие реальные организационные системы более естественным образом формализуются с помощью моделей сетевого взаимодействия агентов, чем с помощью моделей классической теории игр. Адекватным и перспективным на сегодняшний день математическим аппаратом исследования сетевого взаимодействия между целенаправленными субъектами в сетевых структурах является теория сетевых игр [1–3].

A theory of network games is an adequate and promising mathematical approach for interaction investigation between actors in network structures. Network games in modern sense are not "network formation games" with networks linking players only, but "network based games" with fixed network structures where performance of players and their winnings depend on their actions. In the paper, a multi-agent network "center – agent – market" is investigated on the basic concepts and essentials of the theory of network games. The network is focused on the advancement in the competitive market of homogeneous goods (services). A set of center problems aimed at improvement of network operation efficiency in equilibrium of Cournot-Nash and Stackelberg is studied. The set of problems includes problems of agent number optimization, creation of links, information and strategic reflection, motivational and institutional management of agents. The interaction between "network formation games" and "network based games" is demonstrated while solving the problem of multi-agent "center-agent-market" network management for franchise systems.

**Key words:** network games, network management, model «center-agent-market», network formation tasks, network based tasks, franchising.

Сетевой игрой (network game) называется игровой конфликт, исходом которого является некоторый набор связей между игроками, причем выигрыши игроков зависят только от набора этих связей. Понятие «связи» определяется содержательной интерпретацией модели сети и может быть достаточно широким: обозначать акты «купли-продажи» между игроками, подчиненность игроков, передачу информации, транспортную связь и многое другое. Связи между игроками описываются направленными и ненаправленными графами. Вершинами графов являются игроки, а ду-

гами – связи между игроками. Считается, что игроки могут каким-либо образом воздействовать на формирование тех или иных связей сети. Как правило, образование связи зависит от желания обоих участников.

Под действием  $i$ -го игрока ( $i = 1, \dots, n$ ) в сетевой игре принято понимать пару множеств: 1) множество игроков (или более широко – оппонентов), к которым этот игрок хочет образовать исходящую связь; 2) множество игроков (оппонентов), на образование входящей сети от которых игрок согласен. Связь в сети образуется тогда и только тогда, когда оба участника связи согласны на ее образование.

Задача управления организационной системой с сетевым взаимодействием участников, состоящей из управляющего органа-центра и  $n$  управляемых участников-агентов, для центра состоит в том, чтобы выбором допустимого управления максимизировать собственный выигрыш при условии, что агенты при установленном центре управления выбирают сеть в соответствии с принятым принципом рационального поведения [4].

В теории игр рациональным для агентов считается выбор такого действия, которое максимизирует их выигрыш. Поскольку выбор каждого агента зависит от того, как будут действовать другие агенты, то он должен делать те или иные предположения относительно поведения агентов. Аналогично, выигрыш центра зависит от выбора агентов, поэтому при решении своей задачи управления центру также следует делать собственные предположения.

Если игроки полностью информированы о параметрах игры и выбирают свои действия одновременно и независимо, то соответствующую сетевую игру можно рассматривать как обычную некооперативную игру в нормальной форме и при поиске решений применять теорию некооперативных игр. Так, в монографии [5] предложено использование «одновременной» игры в качестве модели сетевого взаимодействия, а решением сетевой игры – равновесие Нэша.

Как и в теории некооперативных игр, в сетевых играх отсутствует единственный (устраивающий всех) принцип рационального поведения. Считается, что решения сетевых игр должны быть в том или ином смысле устойчивы, стабильны относительно целенаправленных отклонений от них одного (равновесие Нэша, Байеса–Нэша) или нескольких агентов (сильное равновесие Нэша,  $S$  – ядро). В задаче управления та или иная концепция рационального поведения задает свое множество рациональных сетей.

Описанная выше концепция направлена на формирование собственно сетевых структур. Но в последнее время появилось немало разнообразных содержательных постановок задач описания и исследования взаимодействия, результат которого определяется той или иной «сетевой» («теоретико-графовой») моделью. В них более выраженной является тенденция

под сетевыми играми понимать не только «игры формирования сетей» (network formation games), результатом которых являются сети, связывающие игроков, но и «игры на сетях» (network based games), в которых сеть фиксирована и определяет зависимость результатов деятельности игроков и/или их выигрышей от действий. На качественном уровне различие между играми формирования сетей и играми на сетях состоит в том, что, во-первых, предметом выбора игроков являются переменные, относящиеся к парному взаимодействию между игроками, во-вторых – переменные, описывающие вершины сети.

Основываясь на этих базовых положениях сетевых игр, рассмотрим игру «центр – агент – рынок» на территориальном конкурентном рынке.

В базовой модели конкурентного рынка выделены три группы участников: центр, агенты, рынок.

В модели управляющий сетевым взаимодействием целенаправленный субъект – центр, а управляемый целенаправленный субъект – агент. Рынок – неуправляемый субъект сети.

Центр, головная фирма сети – единственный участник сети, который имеет возможность координировать взаимодействия в ней. Кроме того, центр может в ряде случаев в связи с изменением общей ситуации действовать и как агент, т.е. конкурировать с другими агентами на рынке.

Агенты – это участники сети, 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.

Предположения и особенности модели состоят в следующем.

Рассматривается рынок однородного товара.

У каждого агента есть два вида связи. Первый вид связи – это связь с рынком (потребителями), по которой реализуется товар. Каждая такая связь представляет собой контракт купли-продажи, т.е. совместную договоренность между  $i$ -м агентом и потребителем: если от  $i$ -го агента продается товар (услуга) в объеме  $q_i$ , то обе стороны с этим согласны. Полагаем также, что любое предложение агента на рынке будет реализовано. Другой вид связи – это связь агента с центром. Каждая такая связь представляет собой договор между двумя сторонами, по которому агент обязуется выплачивать сервисную плату – роялти (может – и первоначальный взнос) в обмен за права на бизнес. Значит, если агент участвует в данной сети, то обе стороны с этим согласны. Кроме того, между агентами имеют место информационные связи, которые формируют взаимную информированность агентов и играют важную роль при выработке концепции их рационального поведения.

Под действием агента будем понимать выбор собственной активности. Под активностью  $i$ -го агента  $q_i$

будем понимать объем оказываемых им услуг, объем реализованного товара населению и бизнесу или объем произведенного и реализованного на рынке товара (услуги). Таким образом, действие агентов направлено не на образование собственно связей, а на определение весов связей, т.е. объема товара, который по ним передан.

Считается, что агенты не кооперируются друг с другом.

Центр может управлять сетевым взаимодействием (состоянием сети), воздействуя на следующие компоненты сети:

- 1) состав сети, т.е. добавляя или удаляя вершины (агенты);
- 2) структуру связей между вершинами (агентами), добавляя или удаляя дуги;
- 3) значения параметров, соответствующих вершинам графа (значения состояния) и его дуг (значения параметров, отражающих взаимосвязь между вершинами), посредством управления (институционального, мотивационного и информационного) действиями агентов.

Согласно приведенной выше классификации, первые две задачи центра относятся к «задаче формирования сети», а третья – к «задаче на сети», в которой сеть фиксирована.

На рисунке 1 представлены задачи управления базовой сетью. На нем сплошными линиями показаны задачи, которые в той или иной мере рассмотрены авторами в своих исследованиях, пунктирными линиями – задачи будущих исследований.

При решении указанных задач управления базовой сетью возможно достаточно сложное и разнообразное взаимодействие «задачи формирования сети» и «задачи на сети».

Остановимся на краткой характеристике этого взаимодействия [6].

Так, в нашей модели управление составом сети предусматривает решение вопроса о размере сети (задача «оптимизация числа агентов сети» – на рисунке 1), и формально составляя суть «задачи формирования сети», оно еще связано с расчетом взаимодействий и выигрышей всех участников сети, т.е. с решением «задачи на сети». Поэтому здесь будет целесообразным объединение моделей «задачи формирования сети» и «задачи на сети», так что вначале ищется решение последней в форме аналитической зависимости от параметра «число агентов», а затем проводится оптимизация по этому параметру, позволяющая определить оптимальное число агентов в сети.



Рис. 1. Задачи управления сетью агентов

Управление структурой связи сети (задача «формирование связей» – на рисунке 1) также формально составляет суть «задачи формирования сети», но в нашей модели опять требует привлечения «задачи на сети». Решение «задачи на сети» дает возможность провести расчеты и сравнительный анализ вариантов формирования сети. В частности, проанализированы варианты без непосредственной связи центра с потребителями и со связью центра с ними. Поэтому объединение этих задач приводит к трехэтапной схеме: на первом этапе формируются варианты связей в сети, на втором – по этим вариантам осуществляются расчеты и на третьем этапе проводится сравнительный анализ и отбор вариантов связей в сети.

Задачи информационной и стратегической рефлексии возникают, когда информированность участников сети не является общим знанием. Особенность их постановки и решения заключается в том, что наряду с реальными агентами необходимо рассматривать так называемые фантомные агенты, которые, существуя в сознании реальных и других фантомных агентов, влияют на их действия. Поэтому на рисунке 1 для этих задач показаны два вида связи: связь с «задачей формирования сети» и связь с «задачей на сети».

Конкретные реализации решений центра по мотивационному управлению сетью могут быть весьма разнообразными. В частности, чтобы повысить собственный доход, центр может стимулировать агентов, пересмотрев условия договора с ними по роялти, оказывать те или иные услуги для снижения издержек агентов и т.д.

Третий участник – рынок товара (услуг). В нашей модели он традиционно описывается невозрастающей функцией спроса. В модели используется обратная функция спроса, т.е. цены  $p(Q)$ , которая складывается на рынке при общем объеме предложения на рынке товара (услуг)  $Q = \sum_{i=1}^n q_i$ . Агент с номером  $i$  реализует товар (услугу) потребителю по цене  $p$  в объеме  $q_i$ . Учитывается то, что  $p$  и  $Q$  связаны взаимно однозначной зависимостью, а технически удобнее в качестве аргумента рассматривать  $Q$ .

Формализация и более детальное описание базовой модели «центр – агент – рынок» приведены в работах [5, 6].

Современные тенденции к исследованию игр на сетях предполагают их сведение к той или иной известной теоретико-игровой модели, для которой уже применим имеющийся богатый инструментарий теории игр. После классического теоретико-игрового анализа его результаты следует проинтерпретировать в сетевых терминах [2].

Для того чтобы модель «центр – агент – рынок» стала теоретико-игровой моделью, необходимо формализовать возможности участников по их воздей-

ствию на конфликты. В ней учитываются следующие предположения:

1) наличие конкуренции между агентами за максимальную прибыль и долю рынка. Цена товара не является фиксированной, она определяется общим уровнем предложения на рынке. Поэтому при моделировании поведения каждого агента необходимо принимать во внимание поведение агентов-конкурентов;

2) центр, выступая в роли лицензиара, заинтересован в продаже лицензий по максимальной цене. Агент, действуя в роли покупателя и продавца, заинтересован в приобретении лицензии у центра по минимальной цене и реализации товара (услуги) на рынке по максимальной цене. Таким образом, продвижение товара по торговой цепочке представляет собой компромисс между ее участниками;

3) головная фирма заинтересована в максимальном объеме продаж и минимальном риске и поэтому в случае благоприятной конъюнктуры стремится к наращиванию числа агентов, работающих на данном рынке. Агент, напротив, заинтересован в монопольном обслуживании территории. Поэтому очень важно выдержать оптимальный уровень развития сети в целом, при котором обеспечивается баланс интересов участников рынка.

Интересы участников проявляются в том, чтобы отстоять желаемые для себя условия договора между сторонами. Вместе с тем продвижение товаров на рынке, наряду со стремлением его участников получить наиболее выгодные для себя условия договора, предполагает учет интересов потребителей, согласование спроса и предложения, поиск равновесных решений. Учет условий договора (параметров) между центром и агентами в механизме поиска рыночного равновесия дает возможность оценить их влияние на состояние конкурентного рынка. К таким параметрам договора относится сервисная плата (роялти), которую центр устанавливает для фирм-агентов в обмен за права на бизнес.

При формировании устойчивых сетей авторы опирались на наиболее распространенные на сегодняшний день классические концепции решения некооперативных игр – равновесия Курно – Нэша и равновесия по Штакельбергу.

Приведенная модель дает возможность провести исследования, которые дополняют известные в этой области работы в части изучения влияния поведения головной фирмы, а также организации отношений между центром и агентами на состояние многоагентных рынков одного товара с произвольным числом агентов, в частности, на рыночную цену товара, активность фирм сети в целом и пр. [5–7].

В частности, такие исследования могут быть полезны при организации франчайзером своей сети [5]. Их результаты позволяют провести изучение дополнительных возможностей регулирования регионального

рынка и оптимизации региональной франчайзинговой сети: числа франчайзи, объемов продаж, величины роялти, величины инвестиций и т.д.

**Заключение.** Рассмотрена модель сетевого взаимодействия на конкурентном рынке, включающая три группы участников: головная фирма сети – центр, потребители и агенты, конкурирующие за рынки сбыта. Помимо информационных связей друг с другом, у каждого агента имеется два вида обязательных связей:

с центром и потребителями. Представлен комплекс задач управления такой сетью. Дана характеристика подходов к их решению, основанных на взаимодействии моделей «задачи формирования сети» и «задачи на сети». Результатом первой задачи является сеть, связывающая участников, результатом второй – зависимость показателей сети от действий участников, когда сеть фиксирована. Показано применение полученных теоретических результатов для франчайзинговых сетей.

### Библиографический список

1. Губко М.В. Управление организационными системами с сетевым взаимодействием агентов. I. Обзор теории сетевых игр // Автоматика и телемеханика. – 2004. – №8.
2. Новиков Д.А. Игры и сети // Математическая теория игр и ее приложения. – 2010. – Т. 2, вып. 1.
3. Jackson M.O. Social and Economic Networks. – Princeton, 2008.
4. Myerson R.B. Game Theory: Analysis of Conflict. – London, 1997.
5. Алгазин Г.И., Алгазина Д.Г. Моделирование многоагентных франчайзинговых систем. – Барнаул, 2009.
6. Алгазин Г.И., Алгазина Д.Г. Моделирование сетевого взаимодействия на конкурентных рынках // Управление большими системами: сб. тр. / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М., 2013. – №43.
7. Оскорбин Н.М. Математические модели систем с латентными переменными // Известия Алтайского гос. ун-та. – 2012. – №1/2(73).