

РЕФЛЕКСИВНЫЕ ИГРЫ И СЕТЕВЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ

Д.А. Новиков

Институт проблем управления РАН, Москва

Тел.: 334-90-51, факс: 334-89-11, e-mail: novikov@ipu.ru

Ключевые слова: организационные структуры, теоретико-игровые модели, механизмы управления, иерархические игры, рефлексивные игры.

В докладе обсуждаются возможные подходы к математическому моделированию организационных структур. Основной акцент делается на обосновании возможности и целесообразности использования аппарата рефлексивных игр при изучении сетевых организаций.

1. Организации и их структуры

В соответствии с определением, данным в Философском энциклопедическом словаре, *организация* – 1) внутренняя упорядоченность, согласованность взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленная его строением; 2) совокупность процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого; 3) объединение людей, совместно реализующих некоторую программу или цель и действующих на основе определенных процедур и правил, то есть механизмов функционирования [1]. Мы будем использовать второе и третье определение, то есть рассматривать организацию как процесс или как *организационную систему* (ОС), элементами которой являются отдельные люди и их объединения (участники ОС).

Под *структурой* будем понимать совокупность устойчивых связей между элементами системы. Для ОС это могут быть информационные, управляющие и другие связи между участниками, включая отношения подчиненности и распределение прав принятия решений.

Под *организационной структурой* (оргструктурой) можно понимать либо *структуру процесса организации* (второе определение понятия «организация») как совокупность временных, причинно-следственных и др. связей между его этапами, либо *структуру ОС* (соответственно, третье определение понятия «организация»). Общепринятым является последнее определение, поэтому по умолчанию будем подразумевать под организационной структурой именно структуру ОС. Обзор современного состояния дел в области математического моделирования организационных структур можно найти в [6].

2. Типовые структуры ОС

В качестве *типовых структур ОС* выделим следующие. Во-первых, это – *вырожденная структура* (ВС), в которой отсутствуют какие-либо связи между участниками. Во вторых, это – *линейная структура* (ЛС), при которой подчиненность участников ОС имеет вид дерева, то есть каждый участник подчинен одному и только одному участнику следующего (более высокого) уровня иерархии (следует отметить, что в подавляющем большинстве работ, содержащих формальные модели управления организационными системами, рассматривались модели ОС, характеризующиеся именно древовидными структурами). И, наконец, в третьих, это – *матричная структура* (МС), в которой некоторые участники ОС могут быть подчинены одновременно нескольким участникам, находящимся либо на одном и том же (более высоком), либо на различных, уровнях иерархии (соответственно, так называемое двойное подчинение, межуровневое взаимодействие и распределенный контроль [11]).

Возможны и другие (более или менее детальные классификации по таким основаниям декомпозиции как: цели, функции, территориальное расположение, продуктовая специализация и др.). Например, обычно выделяются следующие основные виды организационных структур промышленных фирм: иерархическая (которая порождается декомпозицией высшей цели организации на цели, подцели и т.д.), функциональная (декомпозиция производится на основании функций (исследование, производство, маркетинг и т.д.)), дивизиональные (декомпозиция по относительно независимым отделениям, каждое из которых может иметь ту или иную структуру), матричная (наложение «гори-

зонтальной» ответственности руководителей проектов на функциональную структуру). Существуют «переходные» структуры – например, дивизионально-региональная, дивизионально-технологическая, дивизионально-продуктовая и др. Тем не менее, любая из перечисленных структур ОС может быть отнесена (используемые при этом критерии должны отражать специфику решаемой задачи) к одной из трех типовых – ВС, ЛС или МС.

3. Сетевые структуры ОС

Если выделенные в предыдущем разделе типовые структуры отражают статические характеристики ОС, то для описания их изменений во времени целесообразно введение понятия *сетевой структуры* (СС), в которой потенциально существуют связи между всеми участниками, некоторые из которых актуализируются, порождая из ВС линейную или матричную, на время решения стоящей перед системой задачи, а затем разрушаются (возвращаясь к ВС) до момента появления новых задач. То есть, СС – это такие структуры ОС, в которых могут возникать и двойное подчинение, и межуровневое взаимодействие, причем одни и те же субъекты могут выступать как в роли управляющих органов, так и в роли управляемых агентов, то есть вступать в сетевое взаимодействие [10]. Образно говоря, сетевая структура – набор априори равноправных агентов, в котором могут возникать временные иерархические и другие структуры, определяемые решаемыми системой задачами. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что используемый нами термин «сетевая структура» не имеет непосредственного отношения к Интернету.

Следует сделать следующее терминологическое замечание. Ранее было распространена интерпретация сетевых структур как таких, в которых нет явно выраженной иерархии, и между всеми (или большинством) ее элементов существуют постоянные связи. В последнее время все большее распространение приобретает интерпретация сетевой структуры (и мы будем придерживаться именно этой интерпретации) как набора агентов, между которыми не существует постоянных связей (то есть «конструктором» является ВС), а связи образуются между ними (например, в виде линейной или матричной структуры) на время решения стоящей перед системой задачи; затем связи исчезают до момента возникновения новой задачи и т.д.

Упорядоченность взаимодействия и механизм управления (иерархия) возникает в сетевой структуре в результате необходимости специализации, позволяющей эффективно решать частные задачи. Например, в процессе многократного решения схожих задач ЛС возникает в СС как механизм снижения транзакционных издержек. Другими словами, разнообразие решаемых задач порождает в вырожденной структуре организационные системы как временные иерархии. Следовательно, тип структуры ОС, обнаруживаемый исследователем операций, зависит от времени наблюдения – на больших (по сравнению с характерным временем изменения внешних условий) временных промежутках ОС может рассматриваться как сеть, на малых – как имеющая одну из типовых структур – ВС, ЛС или МС.

4. Свойства типовых структур ОС

Условно можно считать, что типовые структуры ОС различаются степенью проявлений таких свойств как: иерархичность (противоположностью является распределенность) и число связей. С точки зрения иерархичности ЛС является полностью иерархичной, на другом полюсе находится ВС, в которой отсутствует иерархичность, а промежуточное место занимает МС, в которой имеют место, как наличие иерархии, так и распределенность. С точки зрения числа постоянных связей наименьшее их число имеет ВС, наибольшее – МС, а ЛС занимает промежуточное место (можно рассматривать МС как наложение друг на друга нескольких ЛС).

В каких же случаях эффективными оказываются те или иные структуры, под влиянием каких факторов одна структура трансформируется в другую? Эффективность и трансформация структур обусловлена существующими и, соответственно, изменяющимися внешними и внутренними условиями функционирования. *Внешними условиями* (активными и/или пассивными) являются требования, предъявляемые к ОС внешней средой – нормы, нормативы, ограничения, ожидания, характеристики рынка, социальный заказ и т.д. *Внутренние условия*, в первую очередь, характеризуются *организационными издержками*, зависящими от условий взаимодействия участников ОС (затраты на их взаимодействие, а также на организацию и координацию этого взаимодействия – число связей, информационная нагрузка и т.д. – в существующих условиях и практически без учета производственных издержек).

В общем случае *задача управления структурой ОС* формулируется как поиск структуры (или набора структур), которая минимизировала бы организационные издержки (или максимизировала некоторый функционал, который может отражать в агрегированном виде предпочтения участников ОС и/или других субъектов) при ограничении удовлетворения системой внешним требованиям.

Введем два предположения относительно сравнительной эффективности типовых структур. Первое предположение упорядочивает три типовых структуры по «сложности», которая в первом приближении может определяться как число связей между элементами ОС. Будем считать, что наиболее «простой» является ВС, наиболее «сложной» – МС, а ЛС занимает промежуточное положение между ними. Второе предположение связывает сложность типовой структуры с ее организационными издержками и, следовательно, с эффективностью в зависимости от частоты изменения внешних условий. А именно, будем считать, что более простые структуры характеризуются меньшими организационными издержками и эффективны при большей частоте изменения внешних условий.

Из введенных предположений следует, что при появлении у организации новых задач, проектов и т.д. и/или при увеличении допустимых организационных издержек возникают новые иерархии, то есть, происходит усложнение структуры и осуществляется «сдвиг» от ВС к МС (см. рисунок 1а, на котором петля означает сохранение типа структуры). При сокращении числа задач, завершении проектов и т.д. и/или при уменьшении допустимых организационных издержек разрушается часть существующих иерархий, то есть происходит упрощение структуры и осуществляется «сдвиг» от МС к ВС (см. рисунок 1б). Аналогично, при увеличении частоты изменения внешних условий происходит упрощение структуры.

Усложнение структуры



Увеличение организационных издержек, уменьшение частоты изменения внешних условий

Рис. 1а.

Упрощение структуры



Уменьшение организационных издержек, увеличение частоты изменения внешних условий

Рис. 1б.

Закономерности усложнения и упрощения структуры ОС (трансформации СС)

Таким образом, МС оказываются эффективными при неизменных внешних условиях и высоких организационных издержках, ВС – при изменяющихся внешних условиях и низких организационных издержках, а ЛС занимают промежуточное положение [4, 10] (см. также рисунок 2).

Рассмотрим качественно возможные переходы между типовыми структурами и причины этих переходов. Как отмечалось выше, снижение эффективности некоторой структуры может быть обусловлено изменением внешних условий и/или изменением организационных издержек.

Процесс трансформации может описываться как появление или исчезновение новых иерархий (элементарных линейных структур). Из описанных закономерностей упрощения и усложнения структур следует, что непротиворечивыми с точки зрения введенных предположений являются закономерности трансформации типовых структур, приведенные на рисунке 2 (интересно отметить «универсальность» ЛС).

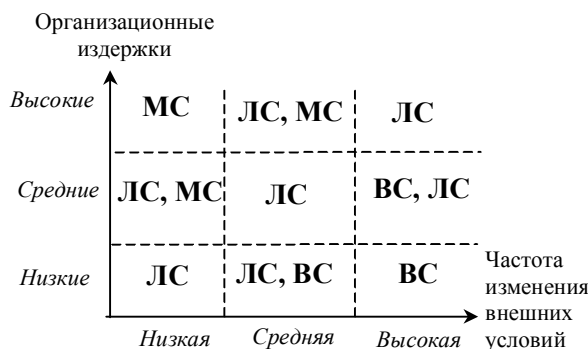


Рис. 2. Области эффективности типовых структур ОС и закономерности их трансформации

Следует признать, что введенные предположения и приведенные результаты на сегодняшний день могут быть обоснованы лишь содержательными рассуждениями и апеллируют к интуиции читателя. Формальное обоснование подобных результатов является перспективной задачей теории управления.

5. Теоретико-игровые модели структурного синтеза

В большинстве моделей теории активных систем [1, 9], теории иерархических игр [3] и других разделов теории управления социально-экономическими системами подчиненность участников ОС считается заданной. В работах по экономике и менеджменту обсуждаются преимущества и недостатки различных организационных структур, в том числе – сетевых, но формальные задачи синтеза оптимальных структур даже не упоминаются. В многочисленных работах, посвященных задачам оптимизации иерархических структур (см. обзор в [2]), практически не учитывается характерная для участников ОС целенаправленность поведения, либо исследуется взаимодействие агентов с фиксированными ролями, находящихся на различных уровнях иерархии. Первое замечание справедливо и для чрезвычайно популярных на сегодняшний день программных многоагентных систем – см. обзор [4].

Опишем различие между «ролями» участников ОС. Целенаправленное (активное) поведение в теории управления обычно описывается в рамках теоретико-игровых моделей [7]. Качественное отличие иерархических игр [3, 7] от «обычных» неантагонистических игр заключается в наличии упорядочения участников ОС по последовательности выбора стратегий (напомним, что стратегией агента называется правило выбора им действий в зависимости от информации, имеющейся на момент осуществления выбора). Традиционно считается, что управляющий орган – центр – обладает правом первого хода, то есть, выбирает свою стратегию первым и сообщает ее другим участникам системы – управляемым субъектам – агентам.

В зависимости от того, может ли центр рассчитывать на то, что ему станет известно действие агента, он может выбирать свою стратегию либо как в «обычной» игре (то есть в виде отображения имеющейся у него информации во множество действий), либо в виде «функции» от выбора второго агента [3] (то есть в виде отображения имеющейся у него информации во множество функций, отображающих множество действий второго агента во множество действий первого), либо в более сложной форме – см. метаигры в [7]. Тем самым первый агент превращается в *метаагента*, устанавливающего «правила игры» для остальных агентов (проявление отношения власти [9]). Таким образом, критерием отнесения конкретного участника, например, двухуровневой ОС к множеству управляющих органов или к множеству управляемых субъектов является его приоритет в последовательности выбора стратегий и возможность выбирать в качестве своей стратегии «функцию» от действий (или в более общем случае – стратегий) агентов, имеющих более низкий приоритет [10].

Например, если в некоторой ОС участники принимают решения последовательно, и имеются три «момента» принятия решений, то можно условно рассматривать данную ОС как трехуровневую иерархическую систему. Участники, делающие первый ход, при этом интерпретируются как центры верхнего уровня иерархии (метацентры), участники, делающие второй ход, интерпретируются как центры промежуточного уровня (центры), а участники, выбирающие свои действия последними – как управляемые субъекты (активные элементы). Стратегии метацентров могут быть функциями от стратегий центров промежуточного уровня и управляемых субъектов и т.д.

Следовательно, в рамках теоретико-игровой модели иерархическая структура ОС порождается фиксацией последовательности выбора стратегий, свойств множеств допустимых действий и информированности участников. Элементный состав каждого уровня иерархии может определяться в результате решения задачи синтеза оптимального состава ОС [8, 9], то есть соизмерения «эффекта масштаба» и издержек привлечения и удержания.

Таким образом, в процессе сетевого взаимодействия каждый из его участников в общем случае может выступать в роли центра того или иного уровня иерархии. Фактическая роль участника определяется двумя факторами. Первый фактор заключается во влиянии имеющегося отношения власти, то есть институциональной возможности определенного участника выступать в той или иной роли. Второй фактор заключается в целесообразности (эффективности, в том числе и экономической) этой роли, как с точки зрения самого участника, так и с точки зрения других участников (причем в моде-

лях горизонтальной «интеграции» должны рассматриваться все рациональные комбинации потенциальных участников ОС).

Фиксируем экзогенно заданное отношение власти и рассмотрим эффективность различных распределений ролей между участниками ОС. Другими словами, предположим, что имеются несколько агентов (участников ОС), каждый из которых может выбирать свои стратегии в определенные моменты времени и в зависимости от принятой последовательности выбора стратегий делать свое действие зависящим от стратегий участников, осуществляющих выбор позже него. Получаем метаигру с переменным составом агентов (который в свою очередь подлежит определению) – игру, в которой определяются роли участников (будем считать, что их выигрыши при каждом фиксированном распределении ролей могут быть вычислены). Такой подход может также интерпретироваться как попытка моделирования процессов *самоорганизации* в социально-экономических системах.

Подробное исследование теоретико-игровых моделей структурного синтеза проведено в работе [10]. Полученные в ней результаты можно разделить на несколько классов. Основным качественным результатом является осознание соответствия между структурой организационной системы и типом игры, которой описывается взаимодействие участников системы, а также вытекающая из этого соответствия формулировка задачи структурного синтеза как задачи поиска оптимальной (в смысле критерия эффективности, определенного на множестве состояний агентов, являющихся равновесиями их игры при данной структуре) структуры, или, что тоже самое – поиска оптимального распределения ролей между агентами.

«Количественные», то есть формальные, результаты относятся к:

- характеристики решений задач структурного синтеза (для веерных структур, линейных ОС, структур с побочными платежами, а также для ОС, агенты которых характеризуются ограниченной рациональностью и для задач последовательного синтеза);

- получению условий, при которых равновесное состояние агентов в той или иной степени не зависит от структуры;

- собственно решению задач структурного синтеза (для однородных ОС, для двухуровневых ОС, для ОС с побочными платежами, а также для ОС, агенты которых характеризуются ограниченной рациональностью);

- исследованию задач формирования сетевых структур для ряда прикладных моделей (модель внутренних цен, модель размещения производственного заказа и модель управления проектом).

Полученные результаты свидетельствуют, что теоретико-игровые модели являются эффективным инструментом анализа и синтеза организационных структур, в том числе – сетевых. Однако известные модели подобного рода основываются на "классической" парадигме теории игр, в рамках которой все существенные параметры игры являются общим знанием среди агентов. Отказаться от этого, достаточно сильного, предположения можно, используя аппарат рефлексивных игр.

6. Рефлексивные игры

Большинство концепций равновесия, используемых в теории игр, основываются на том, что параметры игры являются общим знанием, то есть, известны всем игрокам (агентам), всем агентам известно, что это всем известно и т.д. до бесконечности. В общем же случае агенты могут иметь различные представления о представлениях друг друга, что приводит к бесконечной (рефлексивной) структуре информированности. Для этой ситуации целесообразно использование модели рефлексивной игры и концепции информационного равновесия [13].

Рефлексивные игры позволяют описывать интерактивное взаимодействие агентов, которые принимают решения на основе иерархии своих представлений о существенных параметрах, представлениях других агентов и т.д. Ключевыми понятиями являются следующие (см. формальные определения и результаты в [12, 13]):

- фантомный агент – существующий в представлении реального или другого фантомного агента и наделяемый в рамках этих представлений определенной информированностью;

- информационная структура – бесконечное дерево, отражающее взаимную информированность агентов (реальных и фантомных);

- информационное равновесие – равновесие рефлексивной игры (то есть обобщение равновесия Нэша на случай некооперативной игры реальных и фантомных агентов при заданной структуре информированности);

- стабильное информационное равновесие, в котором каждый агент (как реальный, так и фантомный) наблюдает тот результат игры, которого ожидает;
- ложное равновесие – такое стабильное информационное равновесие, которое не является равновесием в условиях общего знания;
- граф рефлексивной игры – удобный инструмент исследования свойств последней и выразительное средство описания информационной структуры и взаимодействия агентов.

В рамках моделей рефлексивных игр появляется возможность исследования зависимости информационного равновесия и выигрышей агентов от их информированности (в том числе – рангов рефлексии) и, в частности, определения максимального целесообразного в той или иной ситуации ранга рефлексии. Кроме того, имея зависимость информационного равновесия от структуры информированности, можно ставить и решать задачи рефлексивного (информационного) управления – определения той структуры информированности, при которой управляемые субъекты оказываются в требуемом равновесии.

7. Заключение

Анализ существующих формальных моделей и методов управления структурами ОС позволяет констатировать, что в этой обширной области сделаны лишь первые шаги. С одной стороны, на сегодняшний день как лобовое введение в модели оргструктур игровых эффектов, так и введение в игровые модели переменных, описывающих структуру, приводит к существенному усложнению обеих задач. С другой стороны, рефлексивные игры, как отражающие различную взаимную информированность интеллектуальных агентов, являются эффективным инструментом теоретико-игрового моделирования свойств сетевых организаций.

Библиографический список (работы, отмеченные звездочкой, приведены на сайте www.mtas.ru)

1. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять организациями. М.: Синтег, 2003.
2. *Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры. М.: ИПУ РАН, 2003.
3. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976.
4. *Гламаздин Е.С., Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы управления корпоративными программами: информационные системы и математические модели. М.: Спутник+, 2001.
5. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы // Новости искусственного интеллекта. 1998. № 2. С. 64 – 116.
6. *Губко М.В., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Классификация моделей анализа и синтеза организационных структур / Сборник трудов "Управление большими системами". Выпуск 6. М.: ИПУ РАН, 2004. С. 5 – 21.
7. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002.
8. *Караваяев А.П. Модели и методы управления составом активных систем. М.: ИПУ РАН, 2003.
9. *Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. М.: Фонд "Проблемы управления", 1999.
10. *Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. М.: ИПУ РАН, 2003.
11. *Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования организационных систем с распределенным контролем. М.: ИПУ РАН, 2001.
12. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Прикладные модели информационного управления. М.: ИПУ РАН, 2004.
13. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. М.: Синтег, 2003.