

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Парилиной Е.М.
на диссертацию Булгаковой Марии Александровны
на тему: «Динамические сетевые игры с попарным взаимодействием»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Актуальность темы исследования.

Диссертационная работа посвящена исследованию и решению специального класса сетевых игр, когда взаимодействия между игроками происходят среди пар игроков, связанных дугой в графе. Примером такого рода взаимодействий может служить торговля между фирмами или странами, которые имеют связи. **Актуальность** рассматриваемых моделей не вызывает сомнений. Широкое применение сетевых моделей связано с тем, что они позволяют учитывать связи элементов моделируемой системы, изучать влияние элементов друг на друга. Имеющиеся между игроками связи, несомненно, влияют на их прибыль, поэтому рассмотрение сетевой структуры, позволяет найти новые равновесия, оптимальные решения. В работе используется кооперативный подход к решению поставленных задач, который часто доминирует при моделировании формирования социальных сетей, в которых агенты ставят своей задачей максимизировать общую или социальную полезность от сформированной сети.

Содержание работы.

Объем диссертационной работы составляет 108 страниц на русском языке и включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 49 наименований. **Первая глава** посвящена описанию основной модели двухшаговой сетевой игры, в которой на первом шаге игроки, выбирая стратегии, формируют сеть, а на втором шаге происходит взаимодействие между игроками, связанными ребрами в сформированной сети. Взаимодействие игроков на втором шаге описывается набором биматричных игр. Автором используется кооперативный подход к решению игры, согласно которому предлагается способ построения характеристической функции, доказывается ее супермодулярность, изучаются кооперативные решения. Также в Главе I предлагается тау-решение кооперативной игры, приводится упрощенная формула для вычисления его компонент. Автор описывает проблему сильной динамической устойчивости S -ядра для данного класса игр. Теоретические результаты демонстрируются на численных примерах.

Вторая глава обобщает результаты первой главы на случай многошаговых игр. Для этого класса игр также приводится способ построения характеристической функции, доказывается свойство ее супермодулярности. Автор предлагает новый принцип оптимальности для многошаговых сетевых игр с попарным взаимодействием. В этой главе также демонстрируется построение аналога S -ядра с описанием свойств данного кооперативного решения.

В **третьей главе** предлагаются различные подходы к определению характеристической функции в многошаговых играх с попарным взаимодействием, обсуждаются преимущества и недостатки того или иного подхода. Большое внимание уделяется вычислительной сложности,

поскольку сетевые структуры накладывают существенные ограничения на возможность их применения при решении практических задач.

В **четвертой главе** рассматривается более общий случай многошаговых игр, описанных в третьей главе. Также находится кооперативное решение игры на основе характеристической функции, которая обладает свойством супермодулярности. В качестве кооперативных решений автором выбраны вектор Шепли и ПРД-ядро, удовлетворяющее свойству сильной динамической устойчивости. Глава завершается численными примерами.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы, выносимые на защиту.

Научная новизна.

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются интересными и оригинальными. В работе предлагаются новые кооперативные решения для двухшаговых и многошаговых игр с попарным взаимодействием, доказываются свойства динамической устойчивости и сильной динамической устойчивости нескольких решений, рассмотренных автором. Предлагается новый способ определения характеристической функции для данных классов игр, на основе которых строятся новые кооперативные решения. Автор описывает обобщенную модель многошаговой игры с попарным взаимодействием, в которой учитывается случайный фактор при переходе из одного состояния игры в другое. Для этого класса игр адаптирована схема построения кооперативного варианта игры, найдены кооперативные решения.

Теоретическая и практическая значимость.

Диссертационная работа М.А. Булгаковой представляет интерес как с теоретической точки зрения, так с точки зрения приложений к решению практических задач. **Теоретическую значимость** работы представляют теоретико-игровые модели с учетом сетевого взаимодействия игроков, предложенные автором, а также новые подходы к нахождению кооперативных решений для рассматриваемых классов игр. Несомненный теоретический интерес представляют новые способы определения характеристических функций, обусловленные практической необходимостью снижения размерности задач. Предложенные автором модели могут иметь **широкое применение на практике** при решении задач, возникающих в экономике, социальной и телекоммуникационной сферах. В основе всех моделей, описанных в диссертационной работе, лежит попарное взаимодействие узлов сети, которая формируется ее участниками. Такое взаимодействие часто встречается на практике, поскольку двустороннее взаимодействие носит более «устойчивый» характер, чем одновременное многостороннее взаимодействие. Процедуры построения кооперативных решений могут быть применены на практике при заключении долгосрочных контрактов и распределении выручки.

Степень обоснованности научных положений.

Результаты работы М.А. Булгаковой были доложены на многих российских и международных конференциях, поддержаны грантами российских научных фондов. Основные результаты диссертации опубликованы в семи печатных изданиях, в том числе,

шесть из них – в научных изданиях, индексируемых в базах Scopus или Web of Science. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Замечания к диссертационной работе.

Имеются следующие замечания и вопросы к диссертационной работе М.А. Булгаковой:

1. В разделе 1.1 говорится о состоянии игры, но не сказано, связано ли состояние с сетью, которая изначально задана или далее формируется в результате выбора игроками стратегий. Также не определено, с какой сети начинается игра. Если говорить о введенном автором понятии «состояние», то формулировка «Пусть задано абстрактное пространство Z , которое называется пространством состояний» на стр. 54, 86, кажется неуместной. Пространство здесь математически не определено, а то, что используется в работе – это конечное множество элементов, называемых состояниями. Мне кажется, термин «пространство» лучше было бы не использовать.
2. На стр. 21 говорится о том, что будут рассмотрены частные случаи сети, но ведь сеть формируется в результате выбора игроками связей на первом шаге. Правильно ли я понимаю, что здесь опускается первый шаг и находится кооперативное решение при фиксированной сети?
3. В работе часто делаются существенные ограничения на множество игроков, которым заданный игрок может предложить связи, а также на их количество (например, см. стр. 28). Чаше всего эти ограничения приводят к единственному набору связей, предлагаемых игроком. Хотелось бы услышать мнение автора о том, как увеличится вычислительная сложность задачи нахождения решения игры, если эти ограничения будут опущены.
4. В формуле (3.3) используется стратегия $\bar{\mu}_{N \setminus S}$. Здесь написано, что это просто смешанная стратегия коалиции, а ниже, что это определенная стратегия, когда все игроки играют в минимизирующую игру, причем играют против всех других игроков, т.е. игрок i – против коалиции $M \setminus i$. Как все-таки определяется эта стратегия?
5. Какой класс стратегий используется в разделе 3.2 (см. стр. 76)? Какой информацией обладает игрок при выборе управления? Написано, что стратегия зависит от состояния, но тогда возникает вопрос, как состояние связано с сетью (см. вопрос 1 данного списка). Аналогичный вопрос возникает при описании игры на стр. 87-88.
6. В формуле (4.3) можно ли гарантировать существование максимума, ведь о свойствах функции h_i ничего не сказано?
7. Как можно понять из записи первого слагаемого в правой части (4.7), что в сумму входят выигрыши игроков из коалиции S без учета игрока i ?
8. В работе имеются опечатки, например:
 - В формуле (1.1) суммирование должно быть по $j \in M_i$?
 - На стр. 59, 91 сначала используется обозначение $V(z; S)$, потом $V(S; z)$, хотя имеется ввиду одна и та же функция.

- На стр. 62, 63, 64, 95 суммирование должно быть по i с 1 до n , а не до N , последнее обозначает множество игроков.
- В условии 2 Определения 2.3 в формуле с включением элементов S -ядра имеется несколько опечаток.
- В формуле, определяющей вектор \hat{x} на стр. 65, также есть опечатки.
- В последней выделенной формуле на стр. 78, в правой части равенства должно быть $v(\bar{z}_1; N)$.
- На стр. 95, строка 7, в левой части неравенства записан вектор, а в правой – число. Возможно здесь есть опечатка.

Указанные замечания не носят принципиальный характер и не влияют на общее хорошее впечатление от работы. Переходя к оценке диссертации в целом, мне хотелось бы подчеркнуть, что рассматриваемый класс сетевых игр позволяет получить интересные теоретические результаты за счет рассмотрения только попарных взаимодействий игроков, что нельзя сказать о сетевых играх в целом. В рамках диссертации автором сформулировано новое направление исследования динамических сетевых игр, представляющее несомненный практический интерес, найдены кооперативные решения для заданного класса игр, в том числе, с учетом случайных факторов, изучены свойства динамической устойчивости и сильной динамической устойчивости для поддержки кооперативных соглашений в течение всего периода их реализации.

Заключение.

Диссертация Марии Александровны Булгаковой на тему: «Динамические сетевые игры с попарным взаимодействием» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Мария Александровна Булгакова заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Председатель диссертационного совета,
 доктор физико-математических наук,
 профессор Кафедры математической теории игр
 и статистических решений,
 Санкт-Петербургский государственный университет



Е.М. Парилина
 05.09.2022