

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Парилиной Елены Михайловны на тему: «Решения кооперативных стохастических игр с трансферабельными выигрышами», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика

В последнее время все более пристальное внимание специалисты по теории динамических игр уделяют процессам конфликтного управления, имеющим стохастическую природу параметров и управляемых переменных. Для формализации и решения таких задач требуются новые подходы и методы, позволяющие моделировать выбор стратегий участниками конфликтов в условиях неопределенности. Решение таких задач стало возможным с увеличением вычислительных мощностей компьютеров, позволяющих рассчитывать оптимальное поведение с учетом развития различных сценариев динамического процесса конфликтной системы. Диссертантом описан и исследуется особый класс динамических игр, в которых будущие состояния конфликтно-управляемой системы зависят от стратегий игроков, выбранных в текущих состояниях в условиях неопределенности как динамики системы, так и текущего ее состояния. Исследованию так называемых стохастических игр, а именно, кооперативных стохастических игр, посвящена диссертационная работа Е.М. Парилиной.

Особую направленность диссертации составляет построение теории динамических кооперативных стохастических игр, в рамках которой формализуются и решаются задачи нахождения совместных оптимальных стратегий игроков и кооперативных решений, осуществляется проверка этих решений на динамическую устойчивость, используя различные подходы. Диссертантом решается задача построения кооперативных стохастических игр конечной и бесконечной продолжительностей в форме характеристической функции. При нахождении решений кооперативных стохастических игр используются методы так называемой статической кооперативной теории игр. Автором исследования ставится задача нахождения «положительных» свойств кооперативных решений в динамической стохастической постановке, исследуются динамическая устойчивость, сильная динамическая устойчивость, стратегическая устойчивость и условие защиты от иррационального поведения участников.

bx 09/2 - 118 от 24.04.19

В работе получены условия, при которых выполняются вышеперечисленные свойства, а также приводятся примеры проверки этих условий на практических тестовых примерах.

При решении поставленных задач нахождения кооперативных решений в конфликтно-управляемых стохастических системах **актуальной** является задача реализации этих решений в динамике, поскольку «интересы» участников конфликта могут меняться во времени, что может стать причиной их отклонения от заранее выбранного кооперативно-оптимального поведения и привести к не реализуемости кооперативных соглашений. Диссертационная работа посвящена решению этой задачи.

Основные результаты первой главы диссертационной работы связаны с построением теории кооперативных стохастических игр конечной продолжительности, разыгрываемых на конечных древовидных графах. Здесь выводятся основные функциональные уравнения для математического ожидания выигрышей игроков, описывается метод построения характеристической функции, определяются решения кооперативной стохастической игры конечной продолжительности. Для данного класса игр описана проблема позиционной несостоятельности решения кооперативной игры. В случае позиционной несостоятельности решения предлагается метод регуляризации на основе процедуры распределения дележа. Рассматривается случай регуляризации игры с целью построения неотрицательных компонент процедуры распределения дележей. Проблема позиционной несостоятельности обобщается на случай множественного решения кооперативной игры. В этом случае в качестве решения рассматривается S -ядро, вводится понятие его сильной позиционной состоятельности, приводятся достаточные условия сильной позиционной состоятельности S -ядра.

Во второй главе изучаются стохастические игры бесконечной продолжительности, строится теория кооперативных стохастических игр бесконечной продолжительности. Используется новый способ построения характеристической функции. К основным результатам этой главы следует отнести формулировки принципов устойчивой кооперации в стохастических играх, включая позиционную состоятельность, стратегическую устойчивость и условие защиты от иррационального поведения. Для исследуемого класса игр предлагается способ регуляризации выбранного игроками кооперативного решения при помощи введения процедуры распределения

дележа для достижения его позиционной состоятельности. Доказано, что принцип стратегической устойчивости гарантирует существование ситуации равновесия по Нэшу в стохастической игре с выигрышами, равными компонентам выбранного игроками дележа. Также здесь предлагается «усиление» принципа стратегической устойчивости, а именно, доказывається существование сильного трансферабельного равновесия.

В третьей главе описаны результаты, имеющие существенный вклад в развитие теории динамических игр, разыгрываемых на деревьях событий, для которых стохастический динамический процесс определен изначально и не зависит от стратегий игроков. Формализуется модель динамической игры на дереве событий, определяется класс S -адаптивных стратегий, приводится вывод основных функциональных уравнений для нахождения равновесий по Нэшу и кооперативных стратегий для данного класса игр. Описывается проблема позиционной несостоятельности S -ядра, предлагается способ перераспределения во времени выплат игрокам для устранения этой проблемы. Для нерегуляризованных и регуляризованных динамических игр, разыгрываемых на деревьях событий, доказываются теоремы о существовании ε -равновесий с кооперативными выигрышами игроков. В рамках этой главы отдельно изучается случай бинарного дерева с симметричными игроками, для которого в явном виде найдены стратегии, образующие равновесие по Нэшу, и кооперативные стратегии, получено аналитическое представление цены анархии. Для игры случайной продолжительности предлагается способ построения позиционно состоятельного вектора Шепли, а также приводятся необходимые условия существования равновесия по Нэшу в такой игре. Все теоретические результаты этой главы продемонстрированы на примерах теоретико-игровых моделей экологической экономики.

Вопросы применения построенной теории кооперативных игр для решения прикладных задач рассмотрены в четвертой главе. Важным практическим результатом применения построенных теоретических методов является новая методология исследования ряда моделей передачи данных в беспроводных сетях различных конфигураций. Для всех построенных при исследовании этих моделей игр найдены ситуации равновесия по Нэшу, наборы кооперативных стратегий. Проведен сравнительный анализ выигрышей игроков при некооперативном и кооперативном сценариях игры с использованием цены анархии. Значительный интерес представляет предложенная модель нахождения устойчивых коалиционных структур как

решений построенной стохастической игры специального вида. Проводится численное решение игр трех лиц с супераддитивной и несупераддитивной характеристическими функциями. Существенной новизной характеризуется подход к исследованию предложенной в работе модели стохастической игры «Дилемма заключенных» с неполной информацией о дисконтирующих факторах выигрышей игроков. Доказывается существование в этой игре ситуаций абсолютного равновесия в частично марковских стратегиях.

Научная новизна и теоретическая значимость диссертационной работы состоят в построении математической теории кооперативных стохастических игр конечной и бесконечной продолжительностей, нахождении условий поддержки устойчивой кооперации в стохастических играх, развитии теории динамических игр, разыгрываемых на деревьях событий. **Практическая значимость** работы заключается в построении кооперативных решений и проверке их устойчивости в динамике в задачах экологической экономики и передачи информации в телекоммуникационных сетях.

Корректность доказательств сформулированных теорем, лемм и утверждений подтверждают **достоверность полученных результатов**. Все теоретические результаты продемонстрированы на примерах и использованы в численных экспериментах. Публикации автора в ведущих международных и российских периодических изданиях по тематике исследования также подтверждают достоверность основных результатов представляемых к защите. Все полученные в работе основные результаты, выносимые на защиту, являются новыми.

Замечания к диссертационной работе:

1. В главе 1 описывается класс стратегий поведения в стохастических играх, учитывающих историю возможных ситуаций равновесия в предшествующих вершинах древовидного графа. Автор предлагает находить решения в данном классе стратегий, что является сложной и трудно реализуемой вычислительной задачей даже при конечных множествах допустимых стратегий.
2. На стр. 34-35 описаны возможные подходы к определению характеристических функций в стохастических играх. Однако не обсуждается вопрос о практической реализуемости этих подходов при вычислении значений характеристических

функций при достаточно большом, хотя и конечном, количестве игроков.

3. В главе 4 рассматриваются игровые модели передачи данных в коммуникационных сетях достаточно простой конфигурации. Можно ли говорить о возможности применения данных моделей на практике, где реальные сети могут содержать значительно большее число узлов?
4. В работе встречаются опечатки и повторы определений.

Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости работы. Диссертационная работа Парилиной Елены Михайловны является законченным научным исследованием, полученные результаты исследования класса стохастических игр конечной и бесконечной продолжительности вносят значительный вклад в развитие теории динамических кооперативных игр, представляет собой важную составляющую нового направления этой теории – теории стохастических кооперативных игр. Работа в целом заслуживает высокой оценки.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 39 научных работах, из них – 15 статей в ведущих международных и российских периодических изданиях (издания из списка ВАК РФ, а также периодические издания, индексируемые в международных наукометрических базах Scopus/Web of Science Core Collection), в том числе – две статьи в журналах «Automatica» и «European Journal of Operations Research» из Q1 списка периодических изданий Web of Science Core Collection. Результаты автора докладывались более чем на 20 международных конференциях высокого уровня, более 10 раз в зарубежных и российских университетах и научных центрах. Результаты исследования поддержаны более чем 10 грантами РФФИ, РНФ, СПбГУ. Автор в настоящее время является членом исполнительного комитета Международного общества динамических игр, ведущего научного общества в рассматриваемой области.

Диссертация Парилиной Елены Михайловны на тему: «Решения кооперативных стохастических игр с трансферабельными выигрышами» соответствует основным требованиям, установленным Приказом № 6821/1 от 01.09.2016 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Парилина Елена Михайловна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-

математических наук по специальности 01.01.09 – дискретная математика и математическая кибернетика.

Председатель диссертационного совета

Доктор физико-математических наук,

Профессор Санкт-Петербургского

государственного университета



В. В. Захаров