

Отзыв члена диссертационного совета
Ретгиевой Анны Николаевны
на диссертацию Петросяна Ованеса Леоновича на тему: «Динамическое и
непрерывное обновление информации в моделях конфликтного управления»,
предоставленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка
информации

Актуальность темы исследования. Теория дифференциальных игр в настоящее время широко применяется для моделирования развивающихся во времени сложных процессов. Непрерывные модели конфликтно-управляемого взаимодействия возникают при анализе экономических и социальных систем, маркетинговых моделей, эколого-экономических и политических систем и даже современных направлений искусственного интеллекта и мультиагентного обучения. Однако в реальных условиях участники непрерывных конфликтно-управляемых процессов часто не имеют информации о развитии процесса на всем временном интервале, на котором он определен. В таких случаях применение классических подходов, а именно исследование дискретной или непрерывной динамической игры на всем периоде развития процесса, не представляется возможным. В теории динамических игр активно развиваются направления, посвященные исследованию игр со случайной продолжительностью или со случайным выходом игрока из процесса взаимодействия. Таким образом, развитие подходов построения и исследования более реалистичных моделей непрерывных процессов, учитывающих неполноту информации, является актуальной проблемой. Задача построения динамически устойчивых решений является важной и актуальной для теории дифференциальных игр, поскольку в отсутствие динамической устойчивости кооперативные соглашения нереализуемы. Таким образом, актуальность исследования подтверждается соответствием развивающимся научным направлениям, а также самобытностью предложенных автором подходов.

Содержание работы. Объем диссертационной работы оставляет 417 страниц на русском языке и включает введение, пять глав, заключение и список литературы из 237 наименований.

Первая глава посвящена определению нового решения для кооперативных дифференциальных игр с фиксированным горизонтом планирования. В отличие от классического подхода определения дележей и построения процедур их распределения предложенное в диссертационной работе решение определяется с помощью множества процедур распределения дележей. ПРД-ядро определено на основе двух аксиом: формализованной автором доминируемости по ПРД и динамической устойчивости. Доказаны теоремы о явном виде кооперативного решения, о включении ПРД-ядра множество С-ядра и сильной динамической устойчивости ПРД-ядра. Таким образом, предлагается новый подход к построению решений динамических игр, в котором динамическая устойчивость используется в качестве основной аксиомы для кооперативного решения. В главе 3 демонстрируется, что ПРД-ядро, строящееся на основе

ПРД, является удобным для использования в рамках подхода с динамическим и непрерывным обновлением информации.

Во второй и третьей главах формализован и исследован подход с динамическим обновлением информацией для дискретных и непрерывных динамических игр. Предполагается, что игроки используют только ограниченную информацию об уравнениях движения и функциях выигрыша, которая обновляется на каждом шаге. С помощью такого подхода удастся имитировать динамическое обновление информации. Для определения поведения игроков на интервалах времени между обновлением информации вводится понятие усеченной подыгры. Предполагается, что в моменты обновления информации участники переходят из одной усеченной подыгры в другую. Приводятся некооперативные и кооперативные концепции решения для дискретных и непрерывных динамических игр с трансферабельной полезностью и динамическим обновлением информации. Исследованы свойства, связанные с переходом от решений на усеченных подыграх к решениям, определяемым на всем временном интервале игры. Предложены методы построения характеристических функций и дележей. Доказывается, что при некоторых условиях результирующее решение является подмножеством множества дележей, определенного с помощью результирующей характеристической функции, т.е. является множеством дележей в игре с динамическим обновлением информации. Исследовано свойство динамической устойчивости кооперативных решений с динамическим обновлением информации. Отдельно анализируются специальные модели с динамическим обновлением информации и со стохастическим прогнозом или со случайным горизонтом. В 3 главе построена и исследована с помощью предложенных методов модель нефтяного рынка, где на первом шаге используется некооперативное взаимодействие участников рынка и определяются параметры модели на основе исторических данных, а на втором шаге реальное кооперативное соглашение описывается коалиционной кооперативной игрой с нетрансферабельной полезностью.

Четвертая глава посвящена подходу с непрерывным обновлением информации применительно к дифференциальным играм. В отличие динамического обновления предполагается, что информация об уравнениях движения и функциях выигрыша определена на замкнутом временном интервале фиксированной длины и обновляется в каждый текущий момент времени. Также важным отличием от предыдущих глав является построение оптимальных решений не только на основе уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана, но и с использованием принципа максимума Понтрягина. При этом в явном виде получены условия оптимальности для линейно-квадратичных моделей. В данной главе результаты представлены как для некооперативного случая, так и для кооперативного. Для линейно-квадратичного случая доказана равномерная сходимость стратегий и поточечная сходимость траекторий с динамическим обновлением информации к соответствующим стратегиям и траекториям с непрерывным обновлением информации. Также отдельно исследованы свойства кооперативных решений, построенных с использованием предположения об обновлении информации. Доказано, что в случае непрерывного обновления информации произвольное кооперативное решение является сильно динамически устойчивым.

В **пятой главе** описана обратная задача оптимального управления с непрерывным обновлением информации. Большинство подходов решения прямых и обратных задач теории управления определены на фиксированном (или бесконечном) временном горизонте в предположении, что вся информация доступна в начале временного интервала. Однако, в реальности человек использует в каждый момент времени информацию, определенную на непрерывно движущемся информационном горизонте, и соответствующим образом адаптируется к ней. Поэтому, обратная задача решается на основе построенного оптимального управления с обратной связью с непрерывным обновлением информации. Исследована прикладная задача идентификации для системы ассистента управления автомобилем. Предложенный подход позволяет определить неизвестные параметры целевой функции водителя для квадратичной функции выигрыша и линейных уравнений динамики автомобиля. Получены оценки скорости реакции водителя и значение его информационного горизонта.

Новизна научной работы подтверждается оригинальными постановками в дискретных и непрерывных динамических играх с обновлением информации. В рассматриваемых автором играх с динамическим и непрерывным обновлением информации предполагается, что в каждый текущий момент времени игрокам известны уравнения движения и функции выигрыша на заранее заданном временном интервале, имеющем значение информационного горизонта. Для построения оптимальных равновесных по Нэшу и кооперативных стратегий разработаны новые методы на основе метода динамического программирования, уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана и принципа максимума Понтрягина. Также отдельно исследованы свойства кооперативных решений в моделях с обновлением информации и показано, что в случае непрерывного обновления информации произвольное кооперативное решение является сильно динамически устойчивым. Формализовано и исследовано новое кооперативное решение на основе заданного набора аксиом - ПРД-ядро. На основе классических методов построения характеристической функции предложены новые процедуры ее определения в моделях с динамическим и непрерывным обновлением информации. Для линейно-квадратичных динамических игр, а также в некоторых приложениях доказана равномерная сходимость стратегий и поточечная сходимость траекторий с динамическим обновлением информации к соответствующим стратегиям и траекториям с непрерывным обновлением информации. Получен ряд новых результатов в приложениях разработанных методов с динамическим и непрерывным обновлением информации. В моделях разработки ограниченного ресурса показано влияние параметра длительности информации на динамику выработки ограниченного ресурса. Для моделей динамики изменения цен на нефть получены результаты, приближенные к реальным данным, и описаны результаты взаимодействия при заключении кооперативного договора. Другим интересным приложением подхода с непрерывным обновлением информации является решение обратных задач в технических системах типа человек – машина. Моделирование поведения человека происходит с использованием подхода с непрерывным обновлением информации для случая линейно-квадратичной модели и решается обратная задача оптимального управления. Таким образом, новизна подкреплена не только

фундаментально новыми постановками и методами построения оптимальных решений, но и новыми приложениями для реальных динамических систем.

Обоснованность и достоверность результатов определяется строгими математическими доказательствами сформулированных в диссертационном исследовании утверждений, в основе которых лежат известные факты из теории оптимального управления и теории динамических игр, апробацией результатов, выносимых на защиту, на многочисленных конференциях международного уровня, публикациями в рецензируемых российских и международных изданиях, в том числе 22 статьями, опубликованными в ведущих периодических изданиях, проиндексированных в базах данных Scopus и Web of Science, и 6 статьями в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Теоретическая и практическая значимости. Диссертационная работа является глубоким научным исследованием и имеет важное значение для развития теории дискретных и непрерывных динамических игр. Автором предложены новые постановки игр с динамическим и непрерывным обновлением информации, формализованы некооперативные и кооперативные решения, построены соответствующие условия оптимальности с использованием метода динамического программирования, уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана и принципа максимума Понтрягина. Также автором предложен новый подход для построения и формализации характеристических функций, кооперативных решений с динамическим и непрерывным обновлением информации, построено новое кооперативное решение - ПРД-ядро. Для демонстрации теоретических результатов диссертантом сформулирован и решен ряд классических прикладных задач теории дифференциальных игр, а также специальная обратная задача оптимального управления с непрерывным обновлением информации для системы ассистента водителя. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы при построении и исследовании динамических игр на длительных временных интервалах, когда информация, которую используют участники периодически или непрерывно обновляется. Подобные модели востребованы в экономике и менеджменте, политике и экологии.

Замечания. Диссертационное исследование выполнено на высоком научном уровне, однако, к работе имеются следующие замечания и пожелания:

1. В рассмотренных в работе дифференциальных играх с динамическим и непрерывным обновлением информации постулируется, что уравнения движения и функции выигрыша могут меняться во времени. Однако фактически указанные функции имеют один и тот же вид для всего периода продолжения игры, за исключением модели со стохастическим прогнозом. Более того, во всех рассмотренных приложениях нет ни одного примера, когда меняется вид функции выигрыша или уравнения движения. Тем самым, автором не вполне раскрыто преимущество предложенных методов построения оптимальных решений с обновлением информации.
2. Информационный горизонт в рассматриваемых играх с динамическим и непрерывным обновлением информации, не считая специальной модели со случайным горизонтом, считается фиксированным. Не исследована возможность

внешнего определения горизонта для достижения каких-либо целей и зависимость решений от длины информационного горизонта.

3. При построении характеристических функций автором предполагается существование и единственность равновесных решений, не исследован вопрос о выборе решения в случае множества оптимальных стратегий. А также нет ссылок на авторство методов построения характеристических функций, использованных в диссертационной работе, и формального определения классической характеристической функции.
4. Неравенство, лежащее в основе определения ПРД-ядра, является свойством защиты от иррационального поведения для коалиций, введенным в работах Е.В. Громовой. Следовало указать данный факт, а также привести интерпретацию этого ограничения.
5. Не следует употреблять слово новое в названии глав, а также допускать ноль в нумерациях определений и утверждений. Также, непонятно зачем выделено введение в п. 3.4.
6. Глава 5 содержит приложение разработанного метода обновления информации и должна быть включена в соответствующую главу в качестве раздела, а не выделена в отдельную главу. Линейно-квадратичная задача с динамическим обновлением информации должна быть рассмотрена в Главе 2, а не в Главе 4. А также автор использует различные определения в Главе 2 и п. 4.2.5.4.1.
7. Работа содержит множество неточностей и опечаток. Некоторые из них:
 - 1) Стр. 30: одновременно присутствует и $u(t)$ и $u(t,x)$, аналогично на стр. 66 непонятно позиционные или программные стратегии.
 - 2) Стр. 39: должно быть $T-t$, а не Tt .
 - 3) Стр. 54: про равновесие по Нэшу есть ссылка на п. 1.1.1, в котором данный вопрос не рассмотрен.
 - 4) Глава 2: присутствуют g_i^k и g_i^{k+j} , которые должны совпадать. А также не объяснена зависимость функции выигрыша от состояния на двух соседних шагах.
 - 5) В п. 2.4 и 2.5 u_i должно соответствовать u_i^k , а u_i^k соответствовать $u_i^{k,l}$.
 - 6) Нет интерпретации условия (3.20)
 - 7) Стр. 122: использовано нестандартное пропорциональное решение без авторства.
 - 8) Стр. 127, 128: использованы разные обозначения для ПРД-ядра.
 - 9) В п. 3.2: не определено, а в п. 3.4.2.2 и п. 4.5.2 неверно определено количество интервалов l .
 - 10) Стр. 145: что значит «проигравшие игроки»?
 - 11) В (3.145) затраты не совпадают с теми, что описаны ниже.
 - 12) Термин Парето-оптимальная траектория в примере о нефтяном рынке следует заменить на другой, т.к. Парето-оптимальность только для двух игроков из всех.
 - 13) В примерах Главы 4 присутствуют одновременно x_i и $x(t)$.

Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости работы. Важно отметить, что результаты, освещенные в диссертационном исследовании, были представлены автором на научном семинаре Института прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН в ноябре 2021 года.

Заключение. Диссертация Петросяна Ованеса Леоновича представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальных задач. Полученные новые результаты имеют существенное значение для науки и практических приложений. Выводы диссертации вполне обоснованы. Совокупность полученных автором результатов можно квалифицировать как значимое научное достижение в области теории динамических и дифференциальных игр.

Диссертация Петросяна Ованеса Леоновича на тему: «Динамическое и непрерывное обновление информации в моделях конфликтного управления» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Петросян Ованес Леонович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, доцент,
заместитель директора по научной работе,
ведущий научный сотрудник
ИПМИ КарНЦ РАН

А.Н. Реттиева

11.04.2022

ПОДПИСЬ *А.Н. Реттиева*
Удостоверкою
ИПМИ КарНЦ РАН
А.В. Лукашенко
11. Апрель 2022

