

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва, 119526

Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31

ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735

ИНН/КПП 7729138338/772901001

11.04.2022 № 11504/01-214.1-180

На № _____

ОТЗЫВ

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

В диссертационной работе развивается и исследуется подход с динамическим и непрерывным обновлением информации для моделей конфликтного управления: исследуются различные типы обновления информации об уравнениях движения и функциях выигрыша, определяются принципы оптимальности, основанные на подходах с динамическим и непрерывным обновлением информации, изучается связь между принципами оптимальности (кооперативными и некооперативными) с динамическим и непрерывным обновлением информации, исследуется вопрос сходимости управлений игроков и соответствующих траекторий в случае динамического обновления информации к специальному случаю с непрерывным обновлением информации, выводятся условия оптимальности для управлений с непрерывным обновлением информации в форме уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана, принципа максимума Понтрягина и линейно-квадратичного случая.

В первой главе для дифференциальных игр строится и исследуется новое кооперативное решение (ПРД-ядро). Главным отличием построенного кооперативного решения от других классических решений, определенных для класса дифференциальных

игр, является способ его определения на основе аксиом динамической устойчивости и недоминирования по ПРД, использование которых само по себе является новизной. Также приводится явный вид этого кооперативного решения и выводится связь представленных аксиом и явного вида ПРД-ядра. Другим отличием является определение кооперативного решения с помощью процедур распределения дележа (ПРД).

Во второй главе рассматриваются дискретные модели с динамическим (дискретным) обновлением информации, которые позволяют описывать более реалистичные и сложные мультиагентные процессы конфликтного управления. Рассматриваются некооперативная и кооперативная модели с динамическим обновлением информации, строится алгоритм нахождения равновесных по Нэшу и кооперативных стратегий с обновлением информации. Исследуются свойства кооперативных решений и отдельно рассматривается вариант моделирования со случайным информационным горизонтом.

Далее в третьей главе рассматриваются и анализируются дифференциальные игры с динамическим обновлением информации. В целом третью главу можно разделить на четыре части: результаты, посвященные общему классу кооперативных дифференциальных игр с динамическим обновлением информации, специальным классам кооперативных дифференциальных игр с динамическим обновлением информации, стохастическим прогнозом или случайным горизонтом, а также детально рассматриваются различные близкие к реальным модели нефтяного рынка с динамическим обновлением информации. Здесь вводится понятие кооперативных стратегий с динамическим обновлением информации, приведен алгоритм построения соответствующей кооперативной траектории, вводится понятие кооперативного решения и двух способов его построения на основе процедур распределения дележа и специального вида характеристической функции. Результаты, полученные в главе 3, непосредственно связаны с результатами, представленными в главе 1: кооперативное решение (ПРД-ядро) используется в качестве решения для случая динамического обновления информации. Представленные результаты являются новыми и представляют безусловную научную ценность.

Четвертая глава посвящена развитию подходов к задачам с обновлением информации, а именно моделям с непрерывным обновлением информации. Глава начинается с описания предположений для случая непрерывного обновления информации, что вводит некоторый формализм в этом научном направлении. Представлено детальное описание некооперативных и кооперативных моделей с непрерывным обновлением информации (впервые предложенных автором); строятся соответственно кооперативные и равновесные по Нэшу управления. Важным теоретическим результатом является

описание и доказательство условий оптимальности для управлений с непрерывным обновлением информации в форме уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана, принципа максимума Понтрягина и специальном линейно-квадратичном случае. Для линейно-квадратичного (автономного и неавтономного) случая и для специальной логарифмической модели доказана равномерная и поточечная сходимость управлений с динамическим обновлением информации к управлениям с непрерывным обновлением информации при стремлении интервала обновления к нулю. Для класса кооперативных моделей с непрерывным обновлением информации доказана теорема о сильной динамической устойчивости произвольного (в рамках процедуры построения) кооперативного решения. Помимо большого числа приведенных модельных примеров, приводится детальное описание решения модели добычи ресурсов с непрерывным и динамическим обновлением информации.

В пятой главе рассматривается уже обратная задача управления с непрерывным обновлением информации. В каком-то смысле можно считать, что представленные в пятой главе результаты являются приложением основных результатов четвертой главы, так как решение обратной задачи строится на основе известного вида оптимального управления с непрерывным обновлением информации. Однако, стоит заметить, что постановка обратной задачи оптимального управления с непрерывным обновлением информации сама по себе является новой, включая методы нахождения вида оптимального управления в том числе. Интересно, что подход с непрерывным обновлением информации находит свое применение в задачах связанных с взаимодействием между человеком и разного рода технических системами (например, автомобиль). В данной работе уделяется внимание анализу типа водителя на основе наблюдений за его действиями или восстановлению его функционала качества для линейно-квадратичной задачи управления автомобилем.

Данная работа представляет собой существенный математический вклад в теорию дифференциальных игр и мультиагентного управления. Подходы, используемые в диссертационном исследовании, связаны с классическими подходами теории игр (аксиоматический подход к определению кооперативного решения, понятие кооперативных и равновесных стратегий), теории управления и дифференциальных игр (условия оптимальности в форме уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана, принцип максимума Понтрягина и линейно-квадратичное управление). Конечно, предложенное диссертантом направление требует развития, но может быть уже его учениками.

Актуальность представленного исследования подтверждается наличием большого числа научных публикаций в отечественных и зарубежных изданиях по теме диссертации,

а также новизной подхода к решению задач с динамическим и непрерывным обновлением информации. Научная новизна диссертационной работы подтверждается также наличием результатов связанных с определением управлений с динамическим и непрерывным обновлением информации, построением соответствующих условий оптимальности, доказательством теорем о сходимости управлений и траекторий, а также исследованием новых кооперативных решений и доказательством соответствующих теорем. Теоретическая значимость подтверждается описанием нового подхода с динамическим и непрерывным обновлением информации, построением соответствующей базовой теории, а именно описание управлений, способа их построения, анализа результирующих управлений и траекторий. Практическая значимость состоит в применении подходов с динамическим и непрерывным обновлением информации к классическим мультиагентным моделям и демонстрации применения подхода с непрерывным обновлением информации для анализа поведения водителя на основе обратной задачи теории управления. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов определяется строгим математическим доказательством всех представленных в работе утверждений, апробацией результатов, полученных в диссертации, на всероссийских и международных научных конференциях, публикациями в рецензируемых отечественных и зарубежных научных изданиях.

Диссертационное исследование состоит из русскоязычного и англоязычного вариантов. Русскоязычный вариант работы составляет 417 страниц, а английский вариант – 387 страниц, что является довольно внушительным объемом для научного исследования. Диссертационное исследование основано на 27 научных работах, из которых 22 входят в список Web of Science или Scopus. Всего на момент подачи работы автор имел 38 научных работ, из которых 26 входят в список Web of Science или Scopus. Объем проделанной диссертантом работы внушает уважение. В рамках этой работы удалось достичь главной цели докторской диссертации, а именно построить основу для нового научного направления динамического и непрерывного обновления информации в рамках теории дифференциальных игр и мультиагентного управления. Диссертационная работа является законченной научной работой, имеет четкую структуру, а корректность полученных результатов не вызывает сомнений.

Текст диссертационного исследования содержит набор опечаток и неточностей в силу своего большого объема. Однако, они не мешают правильному пониманию и их стоит учесть в будущем в случае публикации результатов диссертации в форме монографии. Также существует некоторый набор замечаний и рекомендаций на будущее:

1. Рассматриваются два типа игровых задач – с динамическим и непрерывным обновлением информации. В моделях с *динамическим* обновлением информации автор предполагает, что игроки «...получают обновленную информацию об уравнениях движения и функциях выигрыша в фиксированные моменты времени...», то есть, иными словами, происходит обновление информации в *дискретном* времени. Почему для характера обновления информации автор выбрал термин «динамический» вместо «дискретный»?
2. В четвертой главе в разделе 4.1.1 в формуле (4.2) определяется функция выигрыша K_i , которая зависит (как следует из формулы) от начального состояния x_0 , заданной продолжительности дифференциальной игры $T-t_0$ и управления u . Запись $K_i(x_0, T-t_0; u)$ в классическом понимании не совсем корректна, поскольку правая часть формулы (4.2) зависит не от продолжительности игры, а от начального t_0 и конечного T моментов времени.
3. В четвертой главе в разделе 4.2.3 приведена формулировка принципа максимума Понтрягина для случая непрерывного обновления информации. В рамках данного исследования условие оптимальности представлено в качестве необходимого условия оптимальности. Однако, в классической теории принцип максимума Понтрягина может иметь смысл необходимых и достаточных условий для случая выпуклой задачи оптимизации. Предлагается в будущем исследовать его достаточность для задач с непрерывным обновлением информации, специальные случаи выпуклых задач с непрерывным обновлением информации для автономного и неавтономных случаев.
4. В четвертой главе в разделе 4.2.5 приведена формулировка неавтономной линейно-квадратичной модели, а также модельный пример. В модельном примере решение системы уравнений Риккати находится в аналитическом виде. Однако, часто в приложениях решение системы уравнений Риккати находится в численном виде. Предлагается в будущем изучить и предложить алгоритмы нахождения численного решения для неавтономного случая с непрерывным обновлением информации.

Указанные замечания не влияют на научную новизну, значимость проведенного научного исследования, а также на высокую оценку диссертации.

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,
член-корреспондент РАН,
доктор физ.-мат. наук, профессор РАН,
главный научный сотрудник лаборатории
механики систем Института проблем
механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

С.А. Решмин

«11» Апреля 2022 г.

Подпись д.ф.-м.н. С.А. Решмина заверяю.

Ученый секретарь Института проблем механики РАН, д.ф.-м.н.



М.А. Котов