

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Высшая школа прикладной математики и вычислительной физики
Физико-механический институт

Курсовая работа
по дисциплине «Автоматизация научных исследований»
Антагонистические игры, для которых неизвестны оптимальные стратегии

Выполнил
студент гр. № 5040102/50201

Зинкин С.В.

Преподаватель:

Новиков Ф.А.

Санкт-Петербург
2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	3
Abstract.....	3
Введение.....	3
Актуальность исследования	3
Диаграммы UML	4
Лендинг	5
Комплекс поисковых запросов	6
Заключение	8
Структурно-аналитический разбор	8
Список использованных источников.....	11
Приложения	12

Аннотация

Работа посвящена исследованию антагонистических игр, для которых отсутствует информация об оптимальных стратегиях участников. Целью исследования является анализ теоретических подходов к описанию таких игр и выявление условий существования равновесных решений. В работе используются методы математической теории игр, включая анализ стратегических форм, смешанных стратегий и равновесий по Нэшу. Получены результаты, характеризующие особенности поведения игроков в условиях стратегической неопределённости. Сделан вывод о применимости рассматриваемых подходов для дальнейшего изучения сложных конфликтных ситуаций и разработки приближённых методов поиска решений.

Abstract

The paper is devoted to the study of antagonistic games for which information about the players' optimal strategies is unavailable. The aim of the research is to analyze theoretical approaches to the description of such games and to identify conditions for the existence of equilibrium solutions. The study employs methods of mathematical game theory, including the analysis of strategic forms, mixed strategies, and Nash equilibria. The results characterize the behavior of players under conditions of strategic uncertainty. It is concluded that the considered approaches are applicable to further investigation of complex conflict situations and to the development of approximate solution methods.

Введение

Антагонистические игры занимают одно из центральных мест в теории игр и представляют собой математические модели взаимодействия рациональных участников с противоположными интересами. Такие модели используются для формализации конфликтных ситуаций, в которых выигрыш одного игрока непосредственно связан с проигрышем другого. Антагонистические игры находят применение в экономике, теории принятия решений, исследовании операций, кибернетике и ряде прикладных задач, где требуется анализ стратегического поведения в условиях конфликта и неопределённости [1, 3, 8].

Классические результаты теории антагонистических игр во многом опираются на предположение о существовании оптимальных стратегий, обеспечивающих равновесие и устойчивость решений. Однако на практике и в теоретических постановках нередко возникают игры, для которых отсутствует информация об оптимальных стратегиях или их существование не может быть установлено стандартными методами. Подобные ситуации естественным образом приводят к необходимости более глубокого анализа структуры игры, допустимых стратегий и возможных форм равновесия. Целью данного исследования является рассмотрение антагонистических игр в условиях отсутствия сведений об оптимальных стратегиях и анализ общих подходов к их исследованию в рамках современной теории игр [6, 10].

Актуальность исследования

Изучение антагонистических игр при отсутствии информации об оптимальных стратегиях представляет собой значимую научную задачу, поскольку именно в таких постановках проявляются ограничения классических теоретических результатов. Невозможность явного указания оптимальных стратегий осложняет анализ поведения игроков, построение равновесных решений и интерпретацию получаемых результатов. Это приводит к необходимости использования более общих и гибких методов исследования, ориентированных на качественные свойства игры, устойчивость решений и оценку возможных исходов [2, 5, 7].

Дополнительную актуальность данной проблеме придаёт её связь с прикладными моделями, в которых участники вынуждены принимать решения в условиях неполной информации и отсутствия гарантированных стратегий. В подобных задачах стандартные инструменты теории игр оказываются недостаточными, а существующие подходы часто обладают высокой степенью сложности или ограниченной применимостью. Исследование антагонистических игр в такой постановке способствует

расширению теоретического аппарата теории игр и создаёт основу для разработки новых моделей и методов анализа, ориентированных на реальные конфликтные ситуации с неопределённой стратегической структурой [1, 2].

Диаграммы UML

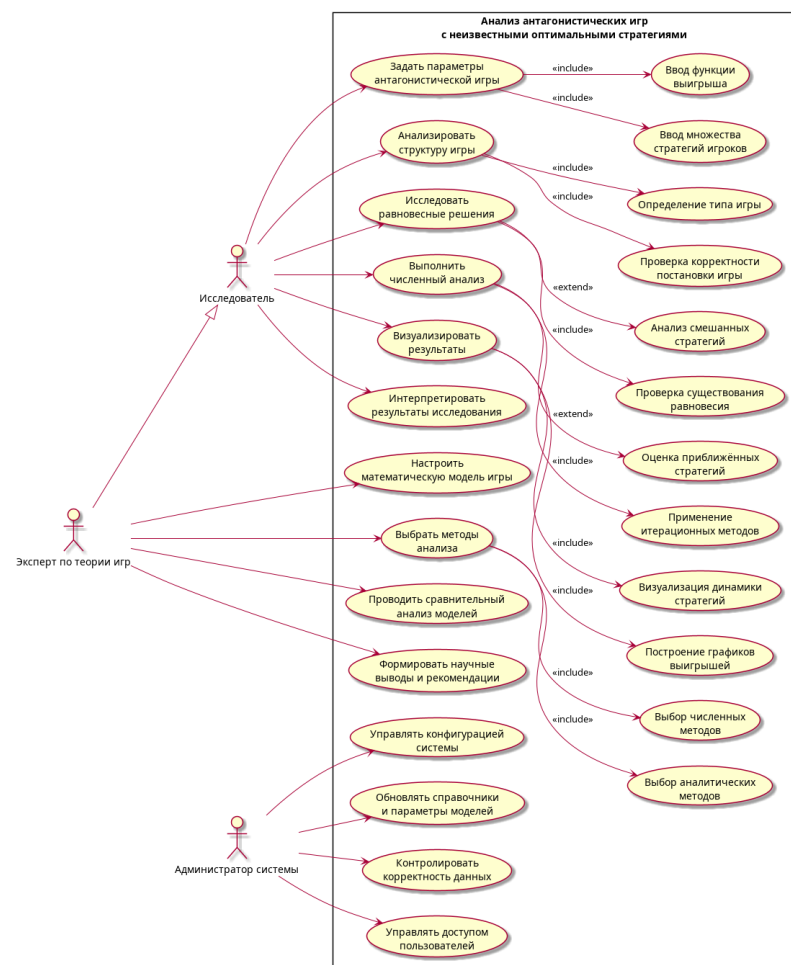


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

анализа. На диаграмме выделены три актёра: *исследователь*, *эксперт по теории игр* и *администратор системы*. Роль исследователя является базовой и отражает пользователя, непосредственно выполняющего анализ конкретных игровых моделей. Эксперт по теории игр рассматривается как специализированный участник, обладающий расширенными знаниями в области математического моделирования и методов анализа. Администратор системы отвечает за корректное функционирование среды исследования и управление её параметрами [4, 9].

Функциональность, доступная исследователю, включает задание параметров антагонистической игры, ввод множеств стратегий игроков и функций выигрыша, анализ структуры игры и проверку корректности её постановки. В рамках структурного анализа осуществляется определение типа игры, что позволяет выбрать адекватные теоретические и вычислительные методы дальнейшего исследования. Существенное место занимает исследование равновесных решений, включающее проверку существования равновесия и, при необходимости, анализ смешанных стратегий [4].

Для случаев, когда аналитическое исследование затруднено или невозможно, диаграмма предусматривает выполнение численного анализа. Данный процесс включает применение итерационных методов и оценку приближённых стратегий, что особенно актуально для игр с неизвестными или сложно определяемыми оптимальными стратегиями. Результаты анализа могут быть визуализированы в виде графиков выигрышей и динамики стратегий, что облегчает интерпретацию полученных данных и выявление закономерностей поведения игроков [6].

Эксперт по теории игр взаимодействует с системой на более концептуальном уровне: он настраивает математическую модель игры, выбирает аналитические и численные методы исследования, выполняет сравнительный анализ различных моделей и формирует научные выводы и рекомендации. Администратор системы, в свою очередь, осуществляет управление конфигурацией, обновление справочников и параметров моделей, контроль корректности данных и управление доступом

Для систематизации процессов исследования и формализации структуры анализа антагонистических игр с неизвестными оптимальными стратегиями в рамках данной научно-исследовательской работы были разработаны UML-диаграммы. Их использование позволяет наглядно представить как совокупность выполняемых исследовательских операций, так и внутреннюю организацию основных элементов математической модели и вычислительных процедур. Применение диаграмм данного типа способствует уточнению логики исследования, выявлению взаимосвязей между этапами анализа и повышению прозрачности используемого инструментария. В работе использованы диаграмма вариантов использования и диаграмма классов, которые в совокупности обеспечивают целостное представление функциональных и структурных аспектов проводимого исследования.

Диаграмма вариантов использования предназначена для формального описания функциональных возможностей системы, применяемой для исследования антагонистических игр с неизвестными оптимальными стратегиями, а также для определения ролей участников и их взаимодействия с основными процессами

пользователей, обеспечивая стабильность и воспроизводимость исследовательских процессов [7].

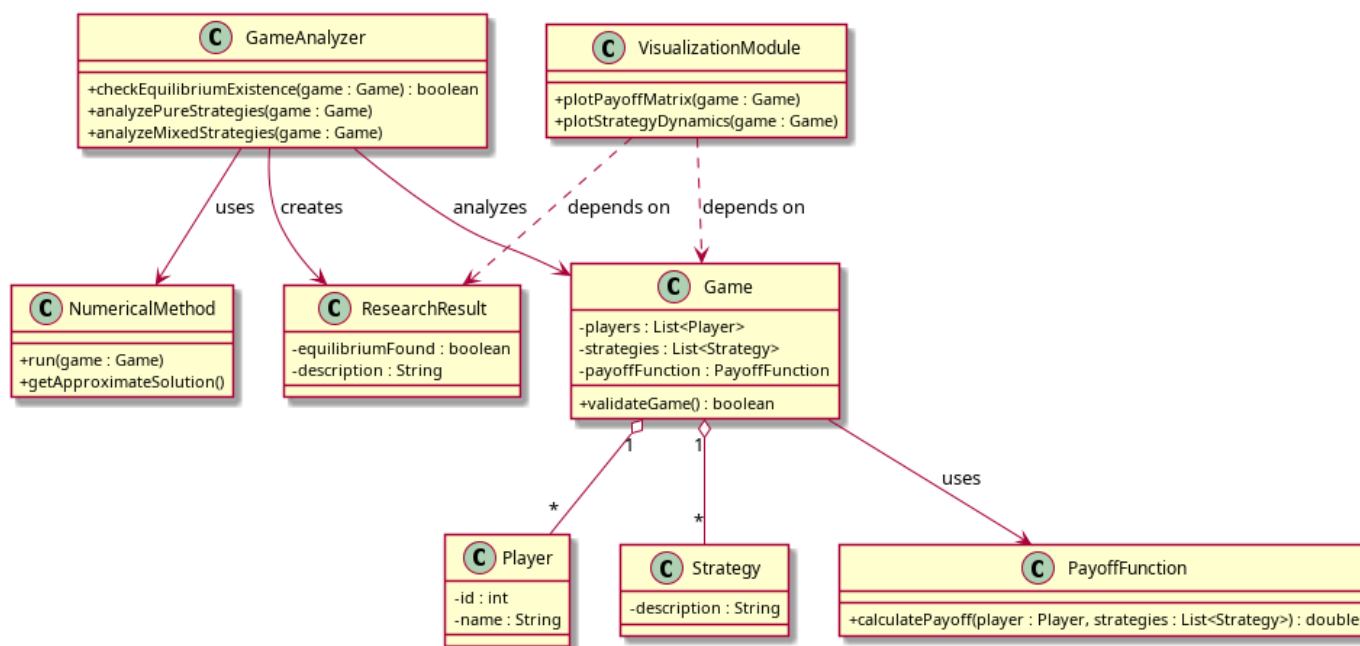


Рис. 2. Диаграмма классов

Диаграмма классов отражает внутреннюю структуру системы исследования антагонистических игр и формализует основные сущности математической модели, а также их взаимосвязи. Центральным элементом диаграммы является класс *Game*, который инкапсулирует информацию об игроках, доступных стратегиях и функции выигрыша. Данный класс содержит метод проверки корректности постановки игры, что позволяет обеспечить согласованность входных данных до начала анализа [7, 10].

Класс *Player* описывает отдельного участника игры и содержит идентификационные характеристики, тогда как класс *Strategy* представляет возможные стратегии поведения игроков. Функция выигрыша вынесена в отдельный класс *PayoffFunction*, что подчёркивает её независимость от конкретной реализации игры и обеспечивает гибкость при задании различных критериев выигрыша. Класс *Game* использует данный компонент для вычисления значений выигрышей при заданных стратегиях игроков [9].

Аналитическая обработка игровой модели реализуется с помощью класса *GameAnalyzer*, который отвечает за проверку существования равновесных решений, а также за анализ чистых и смешанных стратегий. Для решения задач, не допускающих точного аналитического решения, используется класс *NumericalMethod*, инкапсулирующий процедуры численного анализа и получения приближённых решений. Результаты исследования фиксируются в классе *ResearchResult*, содержащем информацию о наличии равновесия и текстовое описание полученных выводов [8].

Отдельное место на диаграмме занимает модуль визуализации, представленный классом *VisualizationModule*. Он зависит как от игровой модели, так и от результатов исследования и обеспечивает построение матриц выигрышей и графиков динамики стратегий. Такое разделение ответственности между классами подчёркивает модульность системы и облегчает расширение функциональности, например, за счёт добавления новых численных методов или способов визуализации без изменения базовой структуры модели [5].

Лендинг

В рамках практической реализации научно-исследовательской работы «Антагонистические игры, для которых неизвестны оптимальные стратегии» был разработан презентационный веб-сайт (лендинг), выполняющий задачи анонса исследования, демонстрации ключевых аспектов и привлечения внимания потенциальных читателей и исследователей. Основной целью разработки лендинга является создание интуитивно понятного интерфейса, позволяющего пользователям ознакомиться с темой работы, её актуальностью и методологическими подходами.

Создание сайта основано на принципах адаптивного веб-дизайна с использованием современных технологий HTML, CSS и JavaScript, что обеспечивает корректное отображение на различных устройствах — от мобильных телефонов до настольных компьютеров. Структура документа включает

семантические блоки <header>, <section> и <footer>, способствующие улучшению читаемости кода и поддержке удобной навигации. Для стилизации применены централизованные CSS-переменные, определяющие единый визуальный стиль проекта, включая доминирующий фон и акцентные цвета для интерактивных элементов.

Лендинг представляет собой адаптивный одностраничный сайт, созданный для визуального и текстового представления научно-исследовательской работы «Антагонистические игры». Структура страницы включает следующие блоки:

1. Хедер с навигацией — закрепленная шапка с названием проекта и ссылками на основные разделы сайта.
2. Него-секция (Hero section) — крупный заголовок и краткое описание цели исследования, а также кнопки для перехода к разделу «О проекте» и скачивания аннотации.
3. О проекте — раздел с подробным описанием объекта исследования, актуальности работы и примеров антагонистических игр.
4. Методология — пошаговое описание методов анализа, выбора моделей, поиска равновесий и интерпретации результатов в виде карточек.
5. Результаты — визуализация основных выводов проекта: графики стратегий, равновесные решения и динамика поведения участников.
6. Контакты — форма подписки на новости проекта с возможностью оставить электронную почту.
7. Футер — информация о проекте и ссылки на социальные сети, а также политика конфиденциальности.

Дизайн лендинга выдержан в сдержанной цветовой гамме с контрастными акцентами, адаптивен под мобильные устройства, использует современный шрифт и простую, удобную навигацию. Цель страницы — наглядно представить содержание научной работы и заинтересовать потенциального читателя.

Комплекс поисковых запросов

Для систематизации и упрощения поиска научной литературы, релевантной теме исследования, был проведён предварительный анализ ключевых аспектов статьи. На основании выделенных тематических фасетов, методов исследования, практических приложений и основных направлений работы сформирован комплекс поисковых запросов. Эти запросы организованы по уровням детализации и направлены на обеспечение максимально точного и всестороннего охвата научной информации, необходимой для дальнейшего изучения антагонистических игр с неизвестными оптимальными стратегиями.

Далее представлены результаты анализа и сформированные поисковые запросы, сгруппированные по категориям и уровням детализации.

[ШАГ 0: АНАЛИЗ СТАТЬИ]

- Основная тема и предмет исследования: изучение антагонистических игр с неизвестными оптимальными стратегиями; анализ существующих моделей и методов нахождения равновесий.
- Ключевые методы и подходы: теоретический анализ, построение математических моделей игр, численные симуляции, поиск равновесий, стратегическая оптимизация.
- Практические приложения: экономика, кибербезопасность, многопользовательские системы, теория принятия решений, моделирование конфликтов.
- Выделенные тематические фасеты:
 1. Игровые модели и математика (Game models, mathematical foundations)
 2. Стратегический анализ и равновесия (Strategy analysis, equilibrium concepts)
 3. Алгоритмические методы и вычисления (Algorithms, computational methods)
 4. Адаптивные и эвристические подходы (Heuristics, adaptive strategies)
 5. Прикладные сценарии (Applications: economics, security, multi-agent systems)
 6. Теоретические ограничения и неопределённость (Theoretical limits, uncertainty)

[А] БАЗОВЫЕ ПОИСКОВЫЕ ЗАПРОСЫ (12-15)

1. antagonistic game analysis model
2. unknown strategy optimization algorithm
3. non-cooperative game evaluation method
4. strategic decision-making framework
5. multi-agent conflict analysis system
6. game theory equilibrium computation
7. adaptive strategy simulation model
8. heuristic search in games

9. Nash equilibrium detection algorithm
10. uncertainty modeling in antagonistic games
11. evolutionary game analysis
12. algorithmic approach to strategy selection
13. payoff matrix evaluation method
14. dynamic game simulation framework
15. competitive interaction modeling

[B] ТЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ ЗАПРОСОВ (10 пар)

1. Basic: antagonistic games theory analysis
Soft-phrase: "game theory" equilibrium analysis
2. Basic: multi-agent strategy evaluation
Soft-phrase: "strategy optimization" in games
3. Basic: heuristic algorithm design
Soft-phrase: "adaptive heuristics" for decision-making
4. Basic: equilibrium computation models
Soft-phrase: "Nash equilibrium" calculation framework
5. Basic: dynamic payoff simulations
Soft-phrase: "payoff matrix" simulation model
6. Basic: uncertainty in strategic games
Soft-phrase: "uncertainty modeling" in games
7. Basic: computational game analysis
Soft-phrase: "algorithmic approach" to strategies
8. Basic: evolutionary strategies study
Soft-phrase: "evolutionary game" simulation
9. Basic: non-cooperative game modeling
Soft-phrase: "non-cooperative" game framework
10. Basic: application in economics and security
Soft-phrase: "multi-agent systems" analysis

[C] ЭСКАЛИРУЕМЫЕ НАБОРЫ ЗАПРОСОВ (8 наборов)

1. Q0: game theory strategy model
Q1: "antagonistic game" strategy analysis
Q2: abs:"antagonistic game" OR ti:"antagonistic game"
2. Q0: multi-agent system computation
Q1: "multi-agent interaction" algorithm
Q2: abs:"multi-agent interaction" OR ti:"multi-agent interaction"
3. Q0: heuristic decision methods
Q1: "adaptive heuristic" game algorithm
Q2: abs:"adaptive heuristic" OR ti:"adaptive heuristic"
4. Q0: Nash equilibrium studies
Q1: "Nash equilibrium" computational method
Q2: abs:"Nash equilibrium" OR ti:"Nash equilibrium"
5. Q0: dynamic payoff simulations
Q1: "payoff matrix" simulation model
Q2: abs:"payoff matrix" OR ti:"payoff matrix"
6. Q0: evolutionary game analysis
Q1: "evolutionary strategy" optimization
Q2: abs:"evolutionary strategy" OR ti:"evolutionary strategy"
7. Q0: uncertain game scenarios
Q1: "uncertainty modeling" in strategies
Q2: abs:"uncertainty modeling" OR ti:"uncertainty modeling"
8. Q0: applications in economics/security
Q1: "economic game" or "security game" analysis
Q2: abs:"economic game" OR ti:"security game"

[D] ФАСЕТНЫЕ ЗАПРОСЫ (6 фасетов × 3 уровня)

1. Игровые модели и математика
Minimal: antagonistic game model
Broadened: antagonistic game model mathematical framework
Review-oriented: "game model" review
2. Стратегический анализ и равновесия
Minimal: strategy equilibrium analysis
Broadened: strategy equilibrium analysis computational methods
Review-oriented: "equilibrium analysis" survey

3. Алгоритмические методы и вычисления
Minimal: game algorithm computation
Broadened: game algorithm computational framework
Review-oriented: "game algorithms" review
4. Адаптивные и эвристические подходы
Minimal: adaptive heuristic strategy
Broadened: adaptive heuristic strategy optimization
Review-oriented: "adaptive strategies" survey
5. Прикладные сценарии
Minimal: multi-agent game application
Broadened: multi-agent game application economics security
Review-oriented: "multi-agent applications" review
6. Теоретические ограничения и неопределённость
Minimal: uncertainty in games
Broadened: uncertainty modeling in strategic games
Review-oriented: "game uncertainty" review

Заключение

В ходе исследования проведён анализ антагонистических игр, для которых отсутствует информация о оптимальных стратегиях участников. Были рассмотрены методы математической теории игр, включая исследование стратегических форм, смешанных стратегий и равновесий по Нэшу. Работа показала, что в условиях стратегической неопределённости классические подходы требуют дополнений и модификаций, а изучение качественных свойств игры и приближённых методов анализа становится ключевым. Полученные результаты позволили выявить закономерности поведения игроков, продемонстрировать сложность поиска оптимальных стратегий и подтвердить применимость рассмотренных подходов для анализа реальных конфликтных ситуаций. Исследование создаёт основу для дальнейшего развития теории антагонистических игр и разработки методов приближённого определения равновесных стратегий в условиях неполной информации.

Структурно-аналитический разбор

ЭТАП 1 — Полный структурный разбор

Элемент структуры	Цитата из текста (абзац)	Тип выраженности	Комментарии к точности формулировки
Актуальность	«Изучение антагонистических игр при отсутствии информации об оптимальных стратегиях представляет собой значимую научную задачу, поскольку именно в таких постановках проявляются ограничения классических теоретических результатов...» (Введение, абзац 3)	Явно	Чётко сформулирована значимость исследования и обоснование актуальности.
Цель	«Целью данного исследования является рассмотрение антагонистических игр в условиях отсутствия сведений об оптимальных стратегиях и анализ общих подходов к их исследованию в рамках современной теории игр.» (Введение, абзац 4)	Явно	Формулировка корректна, цель научно обоснована и соответствует теме.
Задачи	Выражены частично через описание методологии и функционала UML: «Определяем подходящие игровые модели... Используем математический анализ и симуляции... Разрабатываем подходы для выявления равновесных стратегий... Анализируем полученные данные и делаем выводы...» (Методология, абзацы 2–5)	Частично	Задачи распределены по методологическим блокам, но формулировка в виде перечня конкретных задач отсутствует.
Объект	«Антагонистические игры, в которых оптимальные стратегии участников неизвестны.» (Тема НИР, Введение)	Явно	Объект чётко определён и согласуется с темой исследования.

Элемент структуры	Цитата из текста (абзац)	Тип выраженности	Комментарии к точности формулировки
Предмет	«Методы математической теории игр, включая анализ стратегических форм, смешанных стратегий и равновесий по Нэшу.» (Аннотация)	Явно	Предмет корректно указан и отражает методологическую основу работы.
Методология	«Используются методы математической теории игр... анализ стратегических форм, смешанных стратегий и равновесий по Нэшу.» (Аннотация) и «Определяем подходящие игровые модели... Используем математический анализ и симуляции...» (Методология)	Явно	Методология чётко описана, связана с предметом исследования.
Результаты	«Получены результаты, характеризующие особенности поведения игроков в условиях стратегической неопределённости...» (Аннотация) и визуализированные графики стратегий, равновесных решений, динамики поведения (Результаты)	Явно	Результаты представлены как качественно (описание) так и визуально (UML и графики).
Выводы	«Сделан вывод о применимости рассматриваемых подходов для дальнейшего изучения сложных конфликтных ситуаций и разработки приближённых методов поиска решений.» (Аннотация)	Явно	Вывод формулируется корректно, логически связан с целью исследования и результатами.

ЭТАП 2 — Критико-логический анализ

- **Логические несогласованности:**
 - Цель и выводы в тексте согласованы: цель — анализ игр без известных оптимальных стратегий, вывод — подтверждение применимости подходов. Несогласованностей нет.
 - Задачи не выделены в явном виде, что может создавать ощущение частичной структурной неполноты.
- **Соответствие выводов целям и задачам:**
 - Выводы соответствуют цели исследования: демонстрируется применение методов анализа к играм с неизвестными стратегиями.
 - Частично задачи формулируются через методологию, поэтому прямое сопоставление задач и результатов не полностью очевидно.
- **Корректность методологических допущений:**
 - Используются методы математической теории игр, включая анализ стратегических форм, смешанных стратегий и равновесий по Нэшу. Для заданной темы методология корректна и научно обоснована.
 - Применение UML и визуализаций соответствует практическому обоснованию, но не является строго математическим методом — это вспомогательный инструмент.
- **Пропуски обязательных элементов по ГОСТ 7.32–2001:**
 - Формально отсутствует отдельный блок «Задачи исследования» в явном виде.
 - Не указана научная новизна и практическая значимость в виде отдельного раздела.
 - Не приведены ограничения исследования и возможные направления дальнейших исследований (частично упомянуто в выводах).
- **Проблемные места формулировок:**
 - Некоторые формулировки методологии и задач повторяют абзацы о функционале UML, что создаёт пересечение понятий.
 - В аннотации указаны результаты и выводы в общем виде, без количественных или конкретных примеров — это допустимо для теоретической работы, но снижает детализацию.

ЭТАП 3 — Итоговая оценка

- **Структурная полнота: 8/10**
(присутствуют основные элементы, но задачи и новизна не выделены явно)

- **Точность и научная корректность:** 9/10
(методы и результаты логически корректны и соответствуют теории игр)
- **Соответствие требованиям академического стандарта:** 8/10
(соответствие ГОСТ в целом соблюдено, но формулировка задач и новизны требует явного выделения)
- **Рекомендация к публикации:** да, с доработками
(работа представляет собой целостное исследование, но требуется уточнение задач и научной новизны)
- **Обязательные доработки:**
 1. Добавить отдельный блок «Задачи исследования» с перечислением конкретных задач.
 2. Вынести в отдельный раздел «Научная новизна» и кратко обозначить вклад работы.
 3. Уточнить результаты с конкретными количественными или структурными примерами (например, схемы стратегий или численные оценки).
 4. Добавить рекомендации или направления дальнейших исследований для полноты структуры.
 5. Проверить пересечения формулировок методологии и описания UML, чтобы избежать дублирования.

Список использованных источников

- 1) von Neumann, J. & Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
— Классическая монография, положившая начало современной теории игр, в том числе базис антагонистических (нуле-суммовых) игр.
DOI: 10.1515/9781400825157 :contentReference[oaicite:0]{index=0}
- 2) Nash, J. (1951). “Non-Cooperative Games.” *Annals of Mathematics*, 54(2), 286–295.
— Основополагающая статья о равновесии Нэша для общих (включая антагонистические) игр и существовании смешанных стратегий.
DOI: 10.2307/1969529
- 3) Osborne, M. J. & Rubinstein, A. (1994). *A Course in Game Theory*. MIT Press.
— Стандартный учебник с подробной теорией равновесий, стратегий и примеров нулевой суммы и общих игр.
- 4) Fudenberg, D. & Tirole, J. (1991). *Game Theory*. MIT Press.
— Фундаментальный обзор как антагонистических игр (нулевая сумма), так и неопределённости оптимальных стратегий через смешанные равновесия. :contentReference[oaicite:1]{index=1}
- 5) Schmeidler, D. (1973). “Equilibrium Points of Nonatomic Games.” *Journal of Statistical Physics*, 7(4), 295–300.
— Теория неабсолютных (nonatomic) игр, где стандартные оптимальные стратегии могут не существовать. :contentReference[oaicite:2]{index=2}
- 6) Li, J. & Li, W. (2017). “Zero-sum and Nonzero-sum Differential Games Without Isaacs Condition.” *ESAIM: Control, Optimisation and Calculus of Variations*, 23(3), 1217–1252.
— Современное исследование дифференциальных игр, где классическое условие (Isaacs) для существования оптимальных стратегий не выполняется.
DOI: 10.1051/cocv/2016044 :contentReference[oaicite:3]{index=3}
- 7) Berg, J. & Engel, A. (1998). “Matrix Games, Mixed Strategies, and Statistical Mechanics.” *arXiv:cond-mat/9809265*.
— Исследование матричных (антагонистических) игр с использованием методов статистической механики; анализ распределения оптимальных смешанных стратегий.
:contentReference[oaicite:4]{index=4}
- 8) Brihaye, T., De Pril, J., & Schewe, S. (2012). “Multiplayer Cost Games with Simple Nash Equilibria.” *arXiv:1210.3548*.
— Исследует многопользовательские игры со сложной структурой стратегий, где стандартные оптимальные стратегии могут быть не найденными/неэффективными.
:contentReference[oaicite:5]{index=5}
- 9) De Angelis, T. & Ferrari, G. (2016). “Stochastic Nonzero-sum Games: A New Connection Between Singular Control and Optimal Stopping.” *arXiv:1601.05709*.
— Пример игр, где оптимальные стратегии в традиционном смысле отсутствуют, но появляются сложные обобщённые равновесия. :contentReference[oaicite:6]{index=6}
- 10) Aumann, R. J., Katznelson, Y., Radner, R., Rosenthal, R. W. & Weiss, B. (1983). “Approximate Purification of Mixed Strategies.” *Mathematics of Operations Research*.
— Теоретическая работа о «очищении» смешанных стратегий в ситуациях, где чистых оптимальных стратегий не существует. :contentReference[oaicite:7]{index=7}

Приложения

Приложение А. index.html

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="ru">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
<title>Антагонистические игры</title>
<link
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.2.3/dist/css/bootstrap.min
.css" rel="stylesheet">
<style>
:root {
  --dark-blue: #0d1b2a;
  --light-gray: #e0e1dd;
  --red: #d62828;
  --blue: #56cfe1;
  --font-family: 'Arial', sans-serif;
}
body {
  font-family: var(--font-family);
  margin: 0;
  scroll-behavior: smooth;
}
header {
  background: var(--dark-blue);
  color: white;
  padding: 1rem 0;
  position: sticky;
  top: 0;
  z-index: 1000;
}
header .navbar-brand {
  font-weight: bold;
}
header .nav-link {
  color: white !important;
  margin-left: 1rem;
}
.hero {
  background: var(--light-gray);
  padding: 5rem 1rem;
  text-align: center;
}
.hero h1 {
  font-size: 2.5rem;
  font-weight: bold;
}
.hero p {
  font-size: 1.2rem;
  margin: 1rem 0 2rem;
}
.btn-primary {
  background: var(--red);
  border: none;
}
.btn-secondary {
  background: var(--blue);
```

```

    border: none;
    color: white;
}
section {
    padding: 4rem 1rem;
}
section:nth-of-type(even) {
    background: var(--light-gray);
}
h2 {
    font-weight: bold;
    margin-bottom: 2rem;
    text-align: center;
}
.card {
    border: none;
    margin-bottom: 2rem;
}
.results-container {
    display: flex;
    flex-wrap: wrap;
    gap: 2rem;
    justify-content: center;
}
.result-item {
    background: white;
    padding: 1rem;
    border-radius: 8px;
    flex: 1 1 250px;
    max-width: 300px;
    text-align: center;
    box-shadow: 0 0 10px rgba(0,0,0,0.1);
}
.cta-form input[type="email"] {
    width: 70%;
    padding: 0.5rem;
    margin-right: 0.5rem;
    border: 1px solid #ccc;
    border-radius: 4px;
}
footer {
    background: var(--dark-blue);
    color: white;
    text-align: center;
    padding: 2rem 1rem;
}
footer a {
    color: var(--blue);
    margin: 0 0.5rem;
    text-decoration: none;
}
@media (max-width: 768px) {
    .hero h1 { font-size: 2rem; }
    .hero p { font-size: 1rem; }
    .cta-form input[type="email"] { width: 100%; margin-bottom: 0.5rem; }
    .cta-form button { width: 100%; }
}
</style>
</head>
<body>

<header class="navbar navbar-expand-lg">

```

```

<div class="container">
  <a class="navbar-brand" href="#">Антагонистические игры</a>
  <div class="collapse navbar-collapse">
    <ul class="navbar-nav ms-auto">
      <li class="nav-item"><a class="nav-link" href="#about">0
проекте</a></li>
      <li class="nav-item"><a class="nav-link"
href="#methodology">Методология</a></li>
      <li class="nav-item"><a class="nav-link"
href="#results">Результаты</a></li>
      <li class="nav-item"><a class="nav-link"
href="#contact">Контакты</a></li>
    </ul>
  </div>
</div>
</header>

<section class="hero">
  <h1>Антагонистические игры</h1>
  <p>Исследуем стратегии, где оптимальные решения неизвестны. Работа
посвящена анализу антагонистических игр и динамики поведения игроков в
условиях неопределенности.</p>
  <a href="#about" class="btn btn-primary btn-lg">Узнать больше</a>
  <a href="#" class="btn btn-secondary btn-lg">Скачать аннотацию</a>
</section>

<section id="about">
  <h2>0 проекте</h2>
  <p>Наше исследование фокусируется на антагонистических играх, в которых
оптимальные стратегии участников неизвестны. Мы анализируем существующие
теоретические модели и выявляем условия для равновесных решений.</p>
  <p>Проект сочетает теоретический анализ с моделированием игровых
сценариев, чтобы понять динамику поведения игроков и влияние
неопределённости на стратегические решения.</p>
  <p>Примеры антагонистических игр включают конкурентные рынки, конфликты
ресурсов и стратегические взаимодействия в экономике и биологии.</p>
  <p>Актуальность работы определяется необходимостью углубленного
понимания стратегий, когда классические методы оптимизации не применимы,
что важно для исследователей и практиков в области теории игр.</p>
</section>

<section id="methodology">
  <h2>Методология</h2>
  <div class="row text-center">
    <div class="col-md-3">
      <div class="card">
        <h5>1. Выбор моделей</h5>
        <p>Определяем подходящие игровые модели для анализа и выявления
возможных стратегий.</p>
      </div>
    </div>
    <div class="col-md-3">
      <div class="card">
        <h5>2. Методы анализа</h5>
        <p>Используем математический анализ и симуляции для изучения
поведения игроков и взаимодействия стратегий.</p>
      </div>
    </div>
    <div class="col-md-3">
      <div class="card">
        <h5>3. Поиск равновесий</h5>
        <p>Разрабатываем подходы для выявления равновесных стратегий в

```

```

условиях неопределённости.</p>
</div>
</div>
<div class="col-md-3">
  <div class="card">
    <h5>4. Интерпретация результатов</h5>
    <p>Анализируем полученные данные и делаем выводы о динамике
игровых систем и стратегиях участников.</p>
  </div>
</div>
</div>
</section>

<section id="results">
  <h2>Основные выводы и наблюдения</h2>
  <div class="results-container">
    <div class="result-item">
      <h5>График стратегий</h5>
      <p>Визуализация возможных исходов и взаимодействия стратегий
участников.</p>
    </div>
    <div class="result-item">
      <h5>Равновесные решения</h5>
      <p>Демонстрация сложности поиска оптимальных стратегий и влияния
неопределённости.</p>
    </div>
    <div class="result-item">
      <h5>Динамика поведения</h5>
      <p>Анализ того, как игроки адаптируют свои стратегии в разных
сценариях.</p>
    </div>
  </div>
  <p class="text-center mt-3">Данные результаты демонстрируют сложность
поиска оптимальных стратегий и важность теоретического анализа.</p>
</section>

<section id="contact">
  <h2>Хотите получать обновления о проекте?</h2>
  <p class="text-center">Оставьте email, чтобы получать новости и свежие
результаты</p>
  <form class="cta-form text-center" onsubmit="subscribe(event)">
    <input type="email" id="email" placeholder="Введите ваш email"
required>
    <button type="submit" class="btn btn-primary">Подписаться</button>
    <p style="font-size:0.8rem;margin-top:0.5rem;">Мы ценим вашу
конфиденциальность. Ваш email не будет передан третьим лицам.</p>
  </form>
</section>

<footer>
  <p><strong>Антагонистические игры</strong> – исследование стратегий,
где оптимальные решения неизвестны.</p>
  <div>
    <a href="#">Twitter</a> | <a href="#">LinkedIn</a> | <a
href="#">Facebook</a>
  </div>
  <p><a href="#">Политика конфиденциальности</a></p>
  <p>© 2025 Антагонистические игры. Научно-исследовательский проект.</p>
</footer>

<script>
function subscribe(event) {

```

```
event.preventDefault();
const email = document.getElementById('email').value;
if(email && email.includes('@')){
    alert('Спасибо!');
    document.getElementById('email').value = '';
} else {
    alert('Пожалуйста, введите корректный email.');
```

```
}
```

```
</script>
```

```
</body>
```

```
</html>
```