

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию *Шимая Су*
на тему «*Теоретико-игровые методы анализа устойчивости в задачах
управления загрязнением окружающей среды*»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Диссертационная работа посвящена математическому моделированию задач, возникающих в области экологической экономики или биоэкономики и экономического регулирования. В настоящее время большой интерес проявляется к проблемам устойчивого развития окружающей среды, когда природа рассматривается как сложная система, находящаяся под воздействием человеческой деятельности и при этом развивающаяся во времени. Известно, что экономическая деятельность человека существенно воздействует на окружающую среду, изменяет динамические процессы, происходящие в природе. В данной работе моделируется экономическое взаимодействие фирм, регионов или стран, которые могут иметь разное отношение к проблемам охраны окружающей среды. Автор называет их чувствительными и нечувствительными игроками. Предложенные в работе решения позволяют оценить, насколько кооперации в решении таких проблем выгодна и как сделать ее устойчивой, т.е. выгодной всем участникам. Результаты работы имеют большой потенциал для приложения в области составления контрактов сотрудничества между странами или регионами в области экологии.

Диссертация состоит из введения, трех глав, содержащих основные результаты работы, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации – 129 страниц. Первая глава начинается с описания основной модели, которая приведена в случае однократного повторения игры. Здесь получены необходимые условия равновесий по Нэшу для различных сценариев, когда игроки по-разному разбиты на непересекающиеся подмножества. Игроки внутри коалиции играют в её интересах, максимизируя суммарный выигрыш игроков, принадлежащих ей. Коалиции конкурируют между собой. В работе приведены условия устойчивости по Нэшу и индивидуальной устойчивости в случае нетрансферабельных выигрышей. Далее делается предположение о трансферабельности выигрышей и предлагается три механизма приведения сценариев к устойчивому состоянию. Эти три сценария таковы: механизм трансферных платежей, схема налогообложения при отклонении от коалиции и определение множества допустимых коалиций. Применение этих трех схем продемонстрировано на примерах игр трех лиц.

Во второй главе представлена дифференциальная игра, в которой функция мгновенного выигрыша игрока такая же, как и в первой главе. Задана динамика изменения уровня загрязнения во времени, она линейная по

состоянию и управлению. Во второй главе представлены необходимые условия равновесий по Нэшу для возможных сценариев, т.е. фиксированных коалиционных структур. Для случая двух игроков автор предложил механизм компенсаций, который позволяет смоделировать новую некооперативную игру на основе первоначальной с модифицированными функциями выигрышей. Автор объясняет, почему такая модификация выгодна игрокам. Приводится численное моделирование, на графиках изображены области, когда такой переход к новым функциям выгоден одному, другому или обоим игрокам. Также во второй главе проводится анализ устойчивости сценариев, подобный тому, что был проведен в первой главе. Автор проверяет устойчивость в динамике путем проверки устойчивости в нескольких точках вдоль равновесной траектории.

Третья глава посвящена исследованию оценки стоимости неизвестной информации в задачах охраны окружающей среды, которые моделируются дифференциальными играми. Под ценностью информации понимается относительная разность выигрыша игрока в случае, когда он точно знает значение параметра и, когда оно неизвестно. Рассматриваются случаи неизвестных терминальных издержек и случай неизвестной верхней границы выбираемого управления. В случае игры, т.е. когда имеется два игрока, сравнивается ценность информации при кооперативном и некооперативном случаях.

Достоверность полученных научных результатов диссертации Шима Я Су обусловлена строгим доказательством всех сформулированных математических утверждений. Результаты диссертации доложены на нескольких российских и международных конференциях, исследовательских семинарах известных в области математической теории игр научных школ. Основные результаты работы опубликованы в пяти статьях, три из которых - в международных журналах, специализирующихся в области прикладной математики, математической теории игр и исследовании операций, часть статей проиндексирована в Scopus и/или Web of Science.

Новизна результатов диссертационной работы заключается в полученных автором условиях устойчивости и динамической устойчивости коалиционных структур различных конфигураций, включая структуры с частичной кооперацией, когда образуется не одна большая коалиция, а несколько небольших непересекающихся коалиций, в задачах охраны окружающей среды. Также в работе был применен механизм компенсаций, который позволяет смоделировать некооперативную игру таким образом, чтобы игрокам было выгодно внести изменения в функции выигрышей для поддержания кооперации. В диссертации был предложен дизайн механизмов, поддерживающих устойчивость коалиционных структур различных конфигураций. Для задач в области охраны окружающей среды с неопределенностью Су Шима Я предложил использование индекса ценности информации, который сравнивает выигрыши игроков при наличии или отсутствии информации о том или ином параметре модели. Проведено

сравнение значений этого индекса для некооперативного и кооперативного случаев.

Несмотря на то, что диссертация Су Шимая представляет в большей степени теоретическое исследование и результаты, описанные мной выше, имеют *теоретическое значение*, имеется и важное *практическое значение* полученных в работе результатов. Все механизмы, поддерживающие устойчивость кооперативных и частично кооперативных сценариев, могут применяться на практике для составления контрактов. Результаты, полученные в работе, включают явные выражения для штрафов, которые должны заплатить участники соглашения при отклонении от его условий. Результаты работы позволяют составлять контракты, состоятельные во времени.

Диссертация хорошо написана, имеет четкую структуру. Математические модели строго описаны, сформулированные теоретические результаты доказаны в работе, проведено численное моделирование, что особенно важно для дальнейшего возможного применения результатов работы на практике. У меня имеются *вопросы, замечания и предложения* о дальнейших исследованиях:

1. Во всей диссертационной работе затраты на восстановление природы рассматриваются как часть (слагаемое) функционала игрока/игроков, но было бы интересно рассмотреть многокритериальную задачу, когда у каждого игрока есть два критерия: прибыль, которую игрок максимизирует, и издержки по загрязнению окружающей среды, которые он минимизирует. В этом случае у части игроков первый критерий может быть более важным, чем второй, у второй – наоборот. При таком задании целевых функций можно использовать методы многокритериальной оптимизации при нахождении кооперативных, коалиционных и некооперативных решений.
2. В третьей главе диссертации изучается коэффициент ценности информации, когда неизвестен тот или иной параметр модели. Можно ли применить предложенный метод для оценки информации о группе параметров? А также можно ли реализовать процедуру, которая позволяла бы игроку «узнавать значение параметра» в течение игры, т.е. проходить обучение, например, используя байесовский подход.
3. Почему в Главе 3 выбран термин «имитационная игра»? Имеет ли он отношение к имитационному моделированию?


Ответы на эти замечания и вопросы могут стать заделом для дальнейшей работы в данной научной области. Они не влияют на общее положительное впечатление от диссертации, которая, по моему мнению, содержит новые и интересные модели в области теоретико-игрового моделирования проблем экологического регулирования и их подробный анализ. Теоретические и практические результаты, представленные в данной работе, показывают высокую квалификацию автора. Шимай Су имеет несколько публикаций в

ведущих научных журналах таких, как Operations Research Letters, Games and dynamics, Mathematics, и в трудах конференций, которые проиндексированы в наукометрических базах данных Scopus и/или Web of Science. Автор представлял результаты данной работы на семинарах и нескольких известных научных конференциях. Содержание диссертации соответствует пунктам 6, 7, 9 специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Диссертация Шимая Су на тему: «Теоретико-игровые методы анализа устойчивости в задачах управления загрязнением окружающей среды» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 №11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а ее автор, соискатель Шимай Су, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор Кафедры математического
моделирования энергетических систем,
Санкт-Петербургский государственный университет

О.Л. Петросян
26.04.2024



Петросян О.Л.