

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский физико-технический  
институт (национальный исследовательский университет)»

*На правах рукописи*

Бабкина Татьяна Сергеевна



**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДИКТОРОВ  
КООПЕРАТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СОЦИАЛЬНЫХ  
ДИЛЕММАХ**

Специальность 05.13.18 - математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва - 2019

Работа прошла апробацию на кафедре математического моделирования сложных систем и оптимизации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

**Научный руководитель:** Меньшиков Иван Станиславович, к.ф.-м.н., доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

Защита состоится 25.12.2019 в 11:00 на заседании диссертационного совета ФПМИ.05.13.18.003 по адресу: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Московского физико-технического института (национального исследовательского университета) <https://mipt.ru/education/post-graduate/soiskateli-fiziko-matematicheskie-nauki.php>

Работа представлена «15» октября 2019 г. в Аттестационную комиссию федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национального исследовательского университета)» для рассмотрения советом по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук в соответствии с п.3.1 ст. 4 Федерального закона «О науке и государственной научно-технической политике».

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Такие социальные проблемы, как потребление природных ресурсов, социальное и экономическое неравенства, проблема коллективных действий (collective action problem), все еще актуальны в современном обществе. Решение данных проблем является вызовом современной науке. В частности, на данный момент не до конца изучены механизмы, лежащие в основе кооперативного поведения в социальных дилеммах.

В последние десятилетия развитие цифровых технологий вывело взаимодействие людей на новый уровень, в котором пропадают географические, языковые и культурные барьеры. Такой интенсивный рост социально-культурных связей привел к новому витку в исследованиях задачи коллективных действий, в том числе проблем кооперативного и некооперативного поведения внутри социума - неотъемлемых аспектов социальной и экономической сторон жизни человека в обществе (переговоры, распределение благосостояния, использование коллективных благ и многое другое). Например, некооперативное поведение может иметь негативные последствия, как на индивидуальном уровне, так и на уровне больших социальных групп: крупных компаний или государств.

В настоящий момент существуют различные подходы для описания поведения человека в социальных дилеммах, сформулированные на языке теоретико-игровых задач. Конечной целью является ответ на вопрос, как будет вести себя человек в той или иной ситуации: кооперировать, доверять, предавать, благодарить, совершать справедливый дележ или лгать? Большинство предложенных подходов базируются на гипотезе рациональности, в рамках которой предполагается, что выбор человека максимизирует его функцию полезности, которая не учитывает пользу от социальных взаимодействий, за которые отвечает поведенческая экономика. Однако, как сказал Ричард Талер, лауреат Нобелевской премии по экономике 2017 года за вклад в область поведенческой экономики, в будущем не будет понятия «поведенческая экономика», потому что вся экономика будет перестроена с учетом поведенческих факторов.

Экспериментально было найдено, что поведение человека зависит от таких факторов, как пол, культурные составляющие, психологический тип личности и др. Таким образом, существующие теоретические модели зачастую не в состоянии описать реальное поведение людей и требуют уточнений с учетом поведенческих аспектов принятия решений. Вследствие этого, актуальны задачи: исследование моделей равновесия, учитывающих человеческую иррациональность; поиск предикторов (предпосылок) кооперативного поведения, обнаружение которых позволит уточнить существующие модели.

В данной работе было найдено и исследовано равновесие квантового отклика в математической модели, описывающей конфликт двух лиц, построенной с помощью Марковских стратегий; построена математическая модель формирования кооперативного поведения через предикторы в социальных дилеммах; проведены социально-экономические эксперименты; найдены предикторы кооперативного поведения в социальных дилеммах на основе анализа экспериментальных данных; сделаны выводы о природе кооперативного поведения в социальных дилеммах.

### **Степень ее разработанности.**

В неоклассических экономических моделях 20 века поведение человека описывается с помощью введения понятия экономического агента - *homo economicus* (человек экономический). В таких моделях считается, что человеческий выбор рационален почти всегда, что единственное стремление агента при принятии решений — это максимизация собственной выгоды. Из этой предпосылки исходят экономические теории выбора в условиях неопределенности и риска, на ней основаны модели поведения потребителя и фирмы. Вместе с тем эти предсказания традиционной экономики редко находят эмпирическое подтверждение. Это касается как теории индивидуального выбора, так и моделей теории игр (Ультимативный Дележ, Игра в доверие, Создание общественного блага и др.).

Исходя из неоклассических рассуждений, была построена теория ожидаемой полезности (John von Neumann, Morgenstern, 1974). Согласно этой теории, агент, принимая решения, стремится к

максимизации блага, рассчитывая эту ожидаемую полезность через математическое ожидание исходов. Такой подход позволяет проработать математический аппарат в экономических моделях, однако, идеализирует представление о человеке. Поэтому в современной экономической теории происходит возвращение к принятию человеческой иррациональности. Вводится понятие ограниченной рациональности (*bounded rationality*). Так, Herbert A. Simon предложил дополнения к существующей классической экономической модели рациональности (Simon, 1955). Он предположил, что экономический агент скорее имеет некие эвристики относительно возможных исходов, чем математический подход к вычислению вероятностей.

Теория перспектив также выдвигает эвристический подход в оценке людьми рисков, а также учитывает привязку к текущей ситуации (*reference point*) (Kahneman, Tversky, 1979). Вводится понятие процедурной полезности, в которой учитывается полезность не только от конечного выигрыша, но и от самого процесса принятия решений (Frey, Stutzer, 2005).

После того, как экспериментально и эмпирически было установлено, что экономический агент не может быть полностью рациональным, вводится понятие иррациональной экономики, также наравне с рациональным агентом появляется альтруистический агент.

Для теоретического объяснения иррациональности предлагаются следующие подходы: *Quantal response equilibrium* (McKelvey, Palfrey, 1995), *Level-k* (Costa-Gomes и др., 2001), *Cognitive hierarchy* (Camerer и др., 2004), *Quantal level-k* (Stahl, Wilson, 1994), *Trembling hand perfect equilibrium* (Selten, 1974), *Proper equilibrium* (Myerson, 1977), Модифицированное равновесие (Яминов, 2010).

Однако, данные модели не всегда позволяют описать поведение при определенных социально-экономических условиях, поэтому требуют развития.

Достаточно широкое развитие получило направление исследования кооперативного поведения в социальных дилеммах. Наиболее распространенная теоретическая рамка рассмотрения социальных дилемм — это теория ожидаемой полезности или теория рационального выбора (Pruitt, 1977). На данный момент известно много различных факторов, влияющих на принятие

решений в социальных дилеммах: социальные мотивы, пол, персональные черты личности, структура игры, размер группы и другое.

Помимо этого, было найдено, что существуют нейробиологические механизмы, связанные с социальными предпочтениями (Fehr, Camerer, 2007). Предложен подход к пониманию кооперативного поведения, как врожденного интуитивного механизма (Rand и др., 2012; Chen, Krajbich, 2018). Введено понятие кооперативного равновесия, основанного на идее принятия решений под воздействием гипотетических исходов от объединения агентов в коалиции (Carraro, 2013). Предлагается, что предикторами кооперативного поведения могут быть персональные убеждения и моральные догмы (Eshghi, 2017).

### **Цели и задачи диссертационной работы.**

Цель данной работы: поиск и исследование равновесия квантового отклика в математической модели, описывающей конфликт двух лиц, построенной с помощью Марковских стратегий; а также построение математических моделей формирования кооперативного поведения через предикторы в социальных дилеммах.

Задачи исследования:

1. Разработка методов и подходов для поиска равновесия квантового отклика в математической модели, описывающей конфликт двух лиц, построенной с помощью Марковских стратегий.

2. Создание комплексов программ для исследования найденного равновесия.

3. Проведение социально-экономических экспериментов, направленных на изучение природы кооперативного поведения; анализ экспериментальных данных.

4. Построение математических моделей формирования кооперативного поведения через предикторы в социальных дилеммах.

5. Сопоставление теоретических результатов с полученными экспериментальными данными.

### **Научная новизна.**

В данном исследовании впервые исследуется модель равновесия квантового отклика для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях. Получено дополнение к теоретическим моделям, объясняющим отклонение выбора стратегий от равновесия Нэша. Найдены и исследованы предикторы кооперативного поведения в социальных дилеммах.

### **Теоретическая и практическая значимость.**

Найдено и изучено равновесие квантового отклика для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях. Получены результаты сопоставления найденного равновесия с симметричным смешанным равновесием Нэша для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях.

Исследована социальная компонента функции полезности. Проверена экономическая устойчивость социальной компоненты функции полезности. Исследовано принятие решений в социальной дилемме с коллективным риском. Исследованы предикторы кооперативного поведения. Сопоставлены найденные равновесия с экспериментальными данными.

Получено уточнение существующих моделей поведения людей в социальных дилеммах с учетом реальных данных. Помимо этого, исследовано поведение в социальных дилеммах при разных начальных и внешних условиях, изучены предикторы кооперативного поведения.

### **Методология и методы исследования.**

В данной работе используются теоретико-игровые методы, а также методы экспериментальной экономики. Для построения математических моделей используются методы оптимизации, математического анализа, дифференциальных уравнений. Реализуемые в исследовании программные комплексы были сделаны с помощью языка программирования Python в программной пакете Jupiter Notebook, статистическая обработка данных проводилась с использованием следующих программных продуктов: Rstudio, Stata, Python.

Были использованы следующие модели теории игр: игры «Prisoner's Dilemma» (далее Дилемма Заключенного), «Ultimatum» (далее Ультимативный дележ), «Trust» (далее Игра на доверие), «Collective-risk social dilemma» (далее Социальная дилемма с

коллективным риском), реализованные в запрограммированных версиях на базе программного продукта «Z-tree» (разработан в Университете Цюриха, Швейцария), позволяющего фиксировать результаты процесса принятия решений и динамические характеристики взаимодействия участников эксперимента. Для проведения экспериментов применялись методы активного взаимодействия, в т. ч. методы социально-психологического тренинга.

### **Основные положения, выносимые на защиту.**

Поиск и исследование равновесия квантового отклика для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях.

Исследование социальной компоненты функции полезности.

Поиск предикторов кооперативного поведения.

Анализ данных лабораторных экспериментов, направленных на исследование природы кооперативного поведения.

### **Степень достоверности и апробация результатов.**

Теоретическая и методологическая основа диссертации построена на основе работ отечественных и зарубежных авторов в области теории игр, математического моделирования социальных и экономических процессов, опубликованных в российских и зарубежных рецензируемых научных изданиях. Выводы диссертации обоснованы аналитическими расчетами, а также подкреплены данными лабораторных экспериментов. Анализ полученных экспериментальным путем результатов проводился с использованием методов статистической обработки данных. В ходе проведения исследования была собрана база данных, включающая данные 829 респондентов. При этом для построения моделей, основанных на ходах участников, была построена база, включающая в себя 42913 ходов участников. Результаты практических и теоретических исследований были представлены в научных публикациях, а также на отечественных и зарубежных конференциях:

1. Бабкина Т.С., Меньшиков И.С., Меньшикова О.Р., Мягков М.Г. Особенности поведения участников социальных дилемм с коллективным риском с учетом пола, физиологических характеристик до и после социализации. XIX апрельская международная научная конференция по



- проблемам развития экономики и общества, Москва, апрель 2018.
2. Lukinova E., Babkina T., Sedush A., Menshikov I., Menshikova O., Myagkov M. Sociality is not lost with monetary transactions within social groups. The Fourth International Workshop on Experimental Economics and Machine Learning, Dresden, September 2017.
  3. Peshkovskaya A., Babkina T., Myagkov M. Do Women Socialize Better? Evidence from a Study on Sociality Effects on Gender Differences in Cooperative Behavior. The Fourth International Workshop on Experimental Economics and Machine Learning, Dresden, September 2017.
  4. Menshikov I.S., Menshikova O.R., Sedush A.O., Babkina T.S., Lukiniva E.M. Socialization as an effective mechanism of strategy alteration from individual to cooperative: some psychophysiological aspects. VIII Moscow International Conference on Operations Research, Moscow, October 17-22, 2016. P. 140-142.
  5. Menshikov I.S., Menshikova O.R., Sedush A.O., Babkina T.S., Lukiniva E.M. Gender influences on the participants behavior in the economic experiments. VIII Moscow International Conference on Operations Research, Moscow, October 17-22, 2016. P. 104-106.
  6. Lukinova E., Babkina T., Myagkov M., Klucharev V., Social Conformity in Risk Attitudes. 7th Southern Europe Experimental Team's Meeting, St Julians, Malata, January 2016.
  7. Babkina T., Myagkov M., Lukinova E., Peshkovskaya A., Menshikova O., Berkman E. Choice of the group increases intra-cooperation. The Third International Workshop on Experimental Economics and Machine Learning, Moscow, July 2016.
  8. Babkina, T., Lukinova, E., Myagkov. M., Knoll D., A pocket laboratory for 2 x 2 games. Lancaster Game Theory Conference 2015, Lancaster University Management School, Lancaster, UK, November 2015.
  9. Myagkov M., Lukinova E., Babkina T. The pros and cons of sociality as a mechanism of sustainable collective action.

- Skoltech Conference on Research for Impact. Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, October 23 2015.
10. Babkina T., Lukinova E., Myagkov M. Choosing Your Teammates Creates Social Identity and Keeps Cooperation Rates High. ICBEMBS 2015: 17th International Conference on Business, Economics, Management and Behavioral Sciences. Stockholm, Sweden, July 2015.
  11. Myagkov M., Lukinova E., Babkina T. Sociality is Not Lost with Monetary Transactions within Social Groups. Western Economic Association International (WEAI) 90th Annual Conference, Hawaii, USA, June 2015.
  12. Бабкина Т, Лукинова Е., Мягков М., Неприятие неравенства меняет отношение к риску. Труды первой международной научно-практической конференции «Поведенческая экономика: настоящие проблемы и перспективы интернациональной кооперации». Москва, Россия, 2014.
  13. Бабкина Т. Влияние менталитета на принятие решений в экономических задачах. Труды 61 ежегодной конференции МФТИ. Москва, Россия, 2018.
  14. Бабкина Т., Пешковская А. Характер движения глаз связан с принятием решений в экономических задачах. Труды 60 ежегодной конференции МФТИ. Москва, Россия, 2017.
  15. Бабкина Т., Гришкова Е., Захаренков А., Меньшикова О., Меньшиков И., Седуш А. Исследование лабораторной игры Collective Action: психофизиологические и гендерные аспекты. Труды 59 ежегодной конференции МФТИ. Москва, Россия, 2016.
  16. Бабкина Т., Меньшикова О., Меньшиков И., Лукинова Е., Седуш А., Влияние денежных транзакций внутри социальных групп на уровень кооперации. Труды 58 ежегодной конференции МФТИ. Москва, Россия, 2015.
  17. Бабкина Т., Меньшикова О., Меньшиков И., Лукинова Е., Седуш А., Эффект выбора группы на устойчивость уровня кооперации. Труды 58 ежегодной конференции МФТИ. Москва, Россия, 2015.
  18. Бабкина Т., Меньшикова О., Меньшиков И., Лукинова Е., Неприятие неравенства меняет отношение к риску. Труды 57 ежегодной конференции МФТИ. Москва, Россия, 2014.

19. Бабкина Т., Меньшикова О., Кириллов И., Влияние установки просоциального поведения в социально-экономических экспериментах. Труды 57 ежегодной конференции МФТИ. Москва, Россия, 2014.
20. Бабкина Т., Меньшикова О., Меньшиков И., Лукинова Е., Использование теста ИАТ для определения степени принадлежности к группе. Труды 56 ежегодной конференции МФТИ. Москва, Россия, 2013.

### **Публикации.**

Материалы диссертации опубликованы в работах [1–12], из них 7 статей [1-2, 4-7, 9] напечатаны в рецензируемых изданиях, входящих в базу Scopus.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, трех глав, разбитых на параграфы, заключения и библиографии. Общий объем диссертации составляет 99 страниц. Библиография содержит 99 наименований.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во Введении** приводится обоснование актуальности и степени разработанности диссертационной работы, цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** приводится обзор литературы отечественных и зарубежных авторов по теме исследования, поиск и формулировка пробелов в научной области, некоторые из которых покрывает данная диссертационная работа.

**Раздел 1.1** показывает развитие идейного аппарата, математических моделей, служащих объяснить и теоретически описать поведение людей при принятии экономических решений. Основная проблема в понимании процесса принятия решения заключается в том, что факторов, влияющих на этот процесс, действительно много, и не обо всех мы, возможно, догадываемся. На данный момент проведены различные исследования с целью

выявления существенных факторов, определяющих выбор в условиях экономической неопределенности. Однако, задача построения модели описания принятия решений не решена. Не существует модели, которая бы охватывала все известные аспекты поведения людей в тех или иных экономических, социальных, политических и других условиях.

Известные экономические модели принятия решений в разные временные эпохи исходят из отдельных идей. Если рассматривать экономические модели в хронологическом порядке, можно проследить широту эвристических суждений, не базирующихся на математическом аппарате, в классической экономике; переход к формальным понятиям, повлекший за собой определенные ограничения и дополнения; возвращение к моделям, отрицающим безальтернативность принятия решений, учитывающих достижения в области психологии и социологии. Современная экономическая теория основывается на идее о человеке рациональном, который делает свой выбор, максимизируя материальную полезность. Основной критикой данной модели является тот факт, что человек также существо социальное. Этот важный фактор приводит к тому, что многие современные экономические модели не работают на практике.

**Разделе 1.2** посвящен описанию предметной области, в которой происходит математическое моделирование.

Социальные дилеммы — это ситуации, в которых индивидуальная рациональность приводит к коллективной иррациональности (Weber и др., 2004). В социальных дилеммах принятие решений может изменить как экономическое состояние, так и социальное. Основной задачей в социальных дилеммах — это идентификация и понимание механизмов, которые лежат в основе кооперативного поведения в социальных дилеммах (Holzhauer и др., 2013).

Зачастую теория изучения выбора в социальных дилеммах разделяется на:

- 1) теорию рационального выбора (Nash, 1951)
- 2) теорию ограниченной рациональности (Simon, 1955)

Социальные дилеммы в свою очередь разделяются на две категории:

- 1) public good dilemmas (Suleiman, 1997)
- 2) resource dilemma (Hardin, 1968)

В данной работе исследуются известные социальные дилеммы – игра Дилемма Заключенного (ДЗ), игра Ультимативный дележ (УД), Игра на доверие (ИД), социальная дилемма с коллективным риском (СДКР), о которых подробно рассказывается во второй и третьей главах диссертационной работы.

В **разделе 1.3** обсуждаются научные исследования кооперативного поведения. Вводится понятие кооперации, а также обсуждаются факторы, от которых зависит уровень кооперативности при принятии решений.

В **разделе 1.4** обсуждаются модели из теории игр, вводится понятие функции полезности, а также описываются математические модели, учитывающие человеческую иррациональность, вызванную наличием различных факторов, влияющих на поведение, в том числе социальных.

Смысл функции полезности заключается в представлении предпочтений экономического агента на некотором множестве альтернатив. Такая функция дает возможность рассматривать экономический выбор с математической точки зрения, строить математические модели. Полезность может быть субъективной и объективной. Основной актуальной проблемой в теории полезности является иррациональность, которая мало изучена и сложно интерпретируема. Существует теория ожидаемой полезности и теория неожиданной полезности. Теория ожидаемой полезности была максимально раскрыта Джоном фон Нейманом и Оскаром Morgenштерном. Согласно этой теории, предпочтения игрока рассчитываются с помощью математического ожидания. Ими была введена аксиоматика теории ожидаемой полезности. И в результате формула полезности для  $n$  благ выглядит следующим образом:

$$U = \sum_{i=1}^n p_i U(x_i)$$

Основной причиной критики к теории ожидаемой полезности послужили эмпирические наблюдения, которые привели к пересмотру теории. Это в итоге привело к новому витку в изучении предпочтений и создании новых моделей (Канеман, Тверски, Куиггин). Теория неожиданной полезности предполагает нелинейное вхождение вероятностей в функцию полезности, идеи

из которой были применены в исследованиях рискованных предпочтений.

Теория ожидаемой полезности в свою очередь дала начало теории игр. Теория игр — это математический подход исследования оптимальных стратегий в условиях неопределенности (Меньшиков, 2010). Базовая теоретико-игровая модель использует следующие понятия: множество игроков, множество стратегий, функции выигрышей игроков. Считается, что цель игроков заключается в максимизации выигрыша. При этом выигрыш игрока определяется как его собственным выбором стратегии, так и выбранными стратегиями других игроков. В связи с этим, игроки должны использовать некие оптимальные стратегии, что будет приводить к формированию равновесия. Так, равновесие по Нэшу — это такой профиль стратегий, при котором любое отклонение от этих стратегий не улучшит выигрыш игрока. Равновесие Нэша строится на гипотезах о том, что игрок может рассчитать стратегии других игроков, и на основании этого он выбирает наилучшую стратегию, которая бы максимизировала его выигрыш. Однако, в экономических экспериментах зачастую наблюдается отклонение от равновесия Нэша, то есть гипотезы подтверждаются только частично. В связи с этим, важно разрабатывать теоретические модели, которые бы наиболее точно описывали реальное человеческое поведение в социальных дилеммах.

**Вторая глава** посвящена постановке задачи. Приводятся основные определения из теории игр. Вводится понятие симметричного смешанного равновесия Нэша для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях. Приводятся примеры математических моделей, описывающих реальные экспериментальные данные. Исследуется равновесие квантового отклика для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях.

**В разделе 2.1** введены основные понятия из теории игр.

Теория игр посвящена изучению принятию решений в ситуациях конфликта. Как правило, конфликт сторон происходит в так называемых играх, в которых каждая из сторон старается реализовать свои интересы: максимизировать выигрыш. Таким образом, у игрока есть набор стратегий.

Стратегия игрока называется чистой, если она дает однозначную определенность об исходе ее выбора.

Если игрок будет выбирать чистые стратегии с определенными вероятностями, то такая стратегия будет смешанной. Исход выбора смешанной стратегии определяется соответствующими вероятностями, относящимися к чистым стратегиям.

Игра в нормальной форме задается следующим образом:

$$G = \{S_i, u_i, i \in N\},$$

где  $N$  – это количество игроков,  $S_i$  – чистые стратегии игрока,  $u_i: \prod_{i \in N} S_i \rightarrow R$  – функции выигрышей.

Равновесие Нэша задается через следующее определение:

$$u_i(s_i^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*), \forall i \in N, \forall s_i \in S_i$$

Игра Дилемма Заключенного (ДЗ) заключается в выборе из двух альтернатив: Кооперация или Предательство. Один период данной игры заключается в том, что два игрока одновременно и независимо друг от друга делают выбор. Игроки получают одинаковый выигрыш  $R$  за Кооперацию и меньший выигрыш  $P$  за Предательство. Если один игрок Кооперирует, а другой Предает, кооператор получает выигрыш  $S$ , тогда как предатель получает больший выигрыш  $T$ . Таким образом, между выигрышами получается следующее соотношение  $T > R > P > S$  (Таблица 1). Равновесие Нэша в данной игре соответствует взаимному Предательству.

Выигрыши в Дилемме Заключенного были заданы следующим образом:  $T = 10, R = 5, P = 1, S = 0$ .

Таблица 1. Матрица выигрышей в игре Дилемма Заключенного.

Выигрыш	Кооперировать	Не кооперировать
Кооперировать	5, 5	0, 10
Не кооперировать	10, 0	1, 1

Таким образом, равновесие по Нэшу – это выбор Не кооперировать, что дает выигрыш (1, 1). Однако, как показывают лабораторные эксперименты, на практике возникают существенные

отклонения от равновесия Нэша, что особенно наблюдается в итерационной Дилемме Заключенного, когда игра повторяется некоторое число раз. Таким образом, актуальна задача поиска моделей, которые бы учитывали отклонения от равновесия Нэша.

**Раздел 2.2** рассказывает о моделях, уточняющих равновесие Нэша.

Примерами уточняющих моделей являются следующие:

- Quantal response equilibrium
- Level-k
- Cognitive hierarchy
- Quantal level-k
- Trembling hand perfect equilibrium
- Proper equilibrium
- Модифицированное равновесие

Каждая из этих моделей имеет свои преимущества и недостатки, поэтому актуальна задача развития теоретических моделей, которые бы наиболее точно описывали реальные экономические ситуации.

В **разделе 2.3** ищется и исследуется равновесие квантового отклика для игры Дилемма Заключенного и симметричное смешанное равновесие Нэша для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях.

Построим равновесие квантового отклика для описанной ДЗ. Предположим, что  $p$  – это вероятность того, что оппонент выберет кооперировать. Тогда ожидаемые выигрыши можно будет найти через следующие формулы:

Ожидаемый выигрыш от кооперативного хода:  $5 \times p + 0 \times (1 - p) = 5p$

Ожидаемый выигрыш от некооперативного хода:  $10 \times p + 1 \times (1 - p) = 9p + 1$

Равновесие квантового отклика задается следующим образом:

$$p = QRE(\lambda), p \in [0, 1], \lambda \in [0, +\infty)$$

Что дает следующее уравнение:

$$p = \frac{\exp(\lambda \times 5p)}{\exp(\lambda \times 5p) + \exp(\lambda \times (9p + 1))}$$



Затем, что  $p = 0.5$  при  $\lambda = 0$ , то есть выбор стратегий происходит случайным образом. И при  $\lambda \rightarrow +\infty$ , вероятность выбора кооперативной стратегии стремится нулю, что соответствует равновесию Нэша.

Зависимость между  $\lambda$  и  $p$  можно найти в явном виде:

$$\lambda = \frac{\ln\left(\frac{1-p}{p}\right)}{4p+1}$$

Таким образом, QRE подходит только для случаев, когда вероятность выбора кооперативной стратегии не превосходит 0.5. Однако, эксперименты, направленные на поиск предикторов кооперативного поведения, подразумевают, что участники экспериментов будут кооперировать и с вероятностью большей, чем 0.5, поэтому существует задача поиска теоретического описания ситуаций высокой кооперацией, так как известного функционала недостаточно.

В связи с этим, предлагается модель итерационной игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях (Шкловер, Меньшиков, 2015).

Пусть стратегии игрока  $i$  задаются следующим образом:

$\gamma_i$  – это взаимная кооперация, определяемая как вероятность выбора игроком кооперативной стратегии после того, как в предыдущем раунде его оппонент играл кооперативную стратегию.

$\alpha_i$  – это терпимость к некооперативным стратегиям, определяемая как вероятность выбора кооперативной стратегии после того, как в предыдущем раунде оппонент играл некооперативную стратегию.

Соответственно, в случае двух игроков, вероятности выбора кооперативных стратегий задаются следующим образом:

$$\begin{cases} p_1^c = \gamma_1 p_2^c + \alpha_1 (1 - p_2^c) \\ p_2^c = \gamma_2 p_1^c + \alpha_2 (1 - p_1^c) \end{cases}$$

Решение этой системы дает следующие формулы вероятности сходиться кооперативно для такой модели игры:

$$p_1^c = \frac{\alpha_1 - \alpha_2(\alpha_1 - \gamma_1)}{1 - (\alpha_1 - \gamma_1)(\alpha_2 - \gamma_2)},$$

$$p_2^c = \frac{\alpha_2 - \alpha_1(\alpha_2 - \gamma_2)}{1 - (\alpha_1 - \gamma_1)(\alpha_2 - \gamma_2)}$$

Функция выигрыша для первого игрока примет следующий вид:

$$U(p_1^c, p_2^c) = -4p_1^c p_2^c - p_1^c + 9p_2^c + 1$$

Тогда, симметричное смешанное равновесие Нэша ДЗ в Марковских стратегиях задается с помощью гиперболы:

$$5\alpha^2 + 9\gamma^2 - 14\alpha\gamma - 10\gamma + 1 = 0$$

На рис. 1. можно увидеть график зависимости  $\alpha$  от  $\gamma$  в уравнении (19).

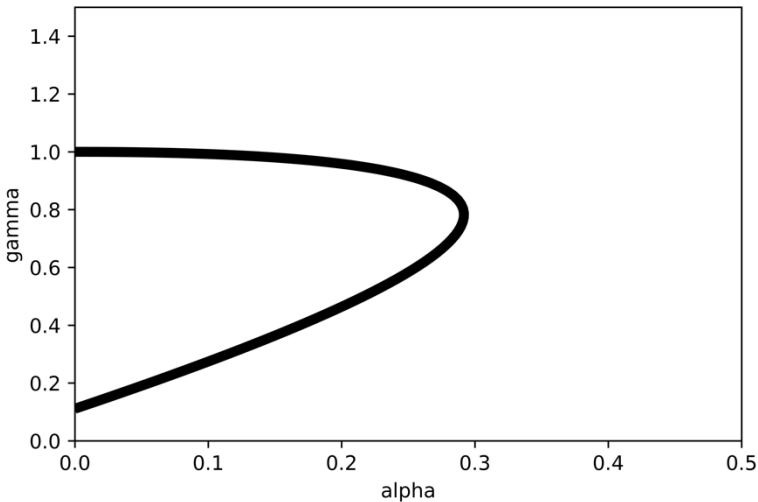


Рис. 1. График зависимости между  $\alpha$  и  $\gamma$ .

Заметим, что данное равновесие частично соответствует результатам проведенных экспериментов (подробнее в главе 3). Так, график зависимости гамма (взаимной кооперации) от альфа (терпимость к некооперативным стратегиям) по данным из лабораторных экспериментов в базовом варианте коррелирует с нижней веткой гиперболы, то есть игроки выбирают данные равновесные стратегии. Однако аналогичный график зависимости гамма (взаимной кооперации) от альфа (терпимость к некооперативным стратегиям) по данным из лабораторных экспериментов в группах, прошедших через социальное взаимодействие, лежит в зоне высоких значений альфа и гамма, поэтому не соответствует найденному равновесию.

Некоторые результаты этого раздела опубликованы в работе [2].

В разделе 2.4 показаны поиск и исследование равновесия квантового отклика для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях.

Считаем, что  $\{\alpha_1, \gamma_1\}$  – профиль Марковских стратегий игрока 1,  $\{\alpha_2, \gamma_2\}$  – профиль Марковских стратегий игрока 2, где  $\alpha$  – это терпимость к некооперативным стратегиям и  $\gamma$  – это взаимная кооперация. Затем фиксируем стратегии одного игрока и одну из стратегий второго игрока, тогда возможны следующие случаи, для которых были посчитаны вероятности выбора кооперативного выбора.

Зафиксируем профиль стратегий –  $\alpha_2, \gamma_2, \gamma_1$ .

При  $\alpha_1 = 0$  вероятности кооперативного выбора для игрока 1 и 2:

$$p_1^c = \frac{0 - \alpha_2(0 - \gamma_1)}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(0 - \gamma_1)} = \frac{\alpha_2\gamma_1}{1 + \gamma_1(\alpha_2 - \gamma_2)},$$

$$p_2^c = \frac{\alpha_2 - 0(\alpha_2 - \gamma_2)}{1 + \gamma_1(\alpha_2 - \gamma_2)} = \frac{\alpha_2}{1 + \gamma_1(\alpha_2 - \gamma_2)}$$

При  $\alpha_1 = 1$ :

$$p_1^c = \frac{1 - \alpha_2(1 - \gamma_1)}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(1 - \gamma_1)} = \frac{1 - \alpha_2 + \alpha_2\gamma_1}{1 + (1 - \gamma_1)(\alpha_2 - \gamma_2)},$$

$$p_2^c = \frac{\alpha_2 - 1(\alpha_2 - \gamma_2)}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(1 - \gamma_1)} = \frac{\gamma_2}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(1 - \gamma_1)}$$

Зафиксируем профиль стратегий –  $\alpha_2, \gamma_2, \alpha_1$ .

При  $\gamma_1 = 0$ :

$$p_1^c = \frac{\alpha_1 - \alpha_2(\alpha_1 - 0)}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(\alpha_1 - 0)} = \frac{\alpha_1 - \alpha_2\alpha_1}{1 - \alpha_1(\alpha_2 - \gamma_2)},$$

$$p_2^c = \frac{\alpha_2 - \alpha_1(\alpha_2 - \gamma_2)}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(\alpha_1 - 0)} = \frac{\alpha_2 - \alpha_2\alpha_1 + \alpha_1\gamma_2}{1 - \alpha_1(\alpha_2 - \gamma_2)}$$

При  $\gamma_1 = 1$ :

$$p_1^c = \frac{\alpha_1 - \alpha_2(\alpha_1 - 1)}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(\alpha_1 - 1)} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_2\alpha_1}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(\alpha_1 - 1)},$$

$$p_2^c = \frac{\alpha_2 - \alpha_1(\alpha_2 - \gamma_2)}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(\alpha_1 - 1)} = \frac{\alpha_2 - \alpha_2\alpha_1 + \alpha_1\gamma_2}{1 - (\alpha_2 - \gamma_2)(\alpha_1 - 1)}$$

Для симметричного случая считаем, что  $\alpha_1 = \alpha_2, \gamma_1 = \gamma_2$ .

Рассчитаем функции выигрышей для разных случаев фиксации стратегий игроков:

$$U^{\alpha=0} = \frac{-4\alpha^2\gamma}{(\gamma(\alpha - \gamma) + 1)^2} - \frac{\alpha\gamma}{(\gamma(\alpha - \gamma) + 1)} + \frac{9\alpha}{(\gamma(\alpha - \gamma) + 1)} + 1,$$

$$U^{\alpha=1} = \frac{-4\gamma(-\alpha(1 - \gamma) + 1)}{(-(\alpha - \gamma)(1 - \gamma) + 1)^2} + \frac{9\gamma}{(-(\alpha - \gamma)(1 - \gamma) + 1)} - \frac{(-\alpha(1 - \gamma) + 1)}{(-(\alpha - \gamma)(1 - \gamma) + 1)} + 1,$$

$$U^{\gamma=0} = \frac{-(\alpha^2 + \alpha)}{(-\alpha(\alpha - \gamma) + 1)} - \frac{4(-\alpha^2 + \alpha)(-\alpha(\alpha - \gamma) + \alpha)}{(-\alpha(\alpha - \gamma) + 1)^2} + \frac{9(-\alpha(\alpha - \gamma) + \alpha)}{(-\alpha(\alpha - \gamma) + 1)} + 1,$$

$$U^{\gamma=1} = \frac{-(\alpha(\alpha - 1) + \alpha)}{(-(\alpha - 1)(\alpha - \gamma) + 1)} - \frac{4(-\alpha(\alpha - 1) + \alpha)(-\alpha(\alpha - \gamma) + \alpha)}{(-(\alpha - 1)(\alpha - \gamma) + 1)^2} + \frac{9(-\alpha(\alpha - \gamma) + \alpha)}{(-(\alpha - 1)(\alpha - \gamma) + 1)} + 1$$

В результате, пользуясь произведенными расчётами, можно найти равновесие квантового отклика, решив следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} 1 - \alpha = \frac{e^{\lambda U^{\alpha=0}}}{e^{\lambda U^{\alpha=0}} + e^{\lambda U^{\alpha=1}}} \\ 1 - \gamma = \frac{e^{\lambda U^{\gamma=0}}}{e^{\lambda U^{\gamma=0}} + e^{\lambda U^{\gamma=1}}} \end{cases}$$

При этом накладываются следующие ограничения:  $\alpha \in [0; 1], \gamma \in [0; 1], \lambda \in [0; +\infty)$ .

Решение данной системы было реализовано с помощью языка программирования Python в программной оболочке Jupiter Notebook.

Поиск решения осуществлялся с помощью модуля `scipy.optimize` – это пакет под Python, который содержит в себе алгоритмы оптимизации. В данном случае использовался алгоритм `minimize`, который позволил найти минимум суммы невязок системы.

В результате была найдена зависимость между  $\alpha$  и  $\gamma$  – решение системы, являющееся квантовым равновесием для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях (рис. 2).

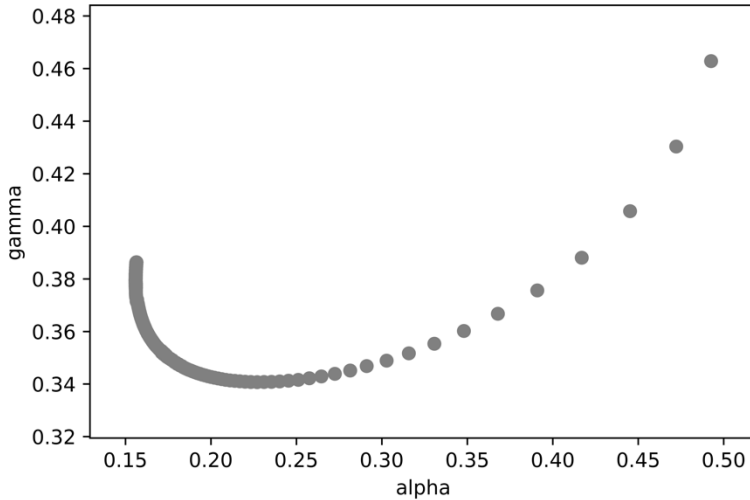


Рис. 2. График зависимости между  $\alpha$  и  $\gamma$  в равновесии квантового отклика для игры Дилемма Заключенного в Марковских стратегиях.

Если построить график симметричного смешанного равновесия Нэша для Дилеммы Заключенного в Марковских стратегиях вместе с графиком, полученным в результате решения задачи поиска равновесия квантового отклика для ДЗ в Марковских стратегиях, получится следующая картина (рис. 3).

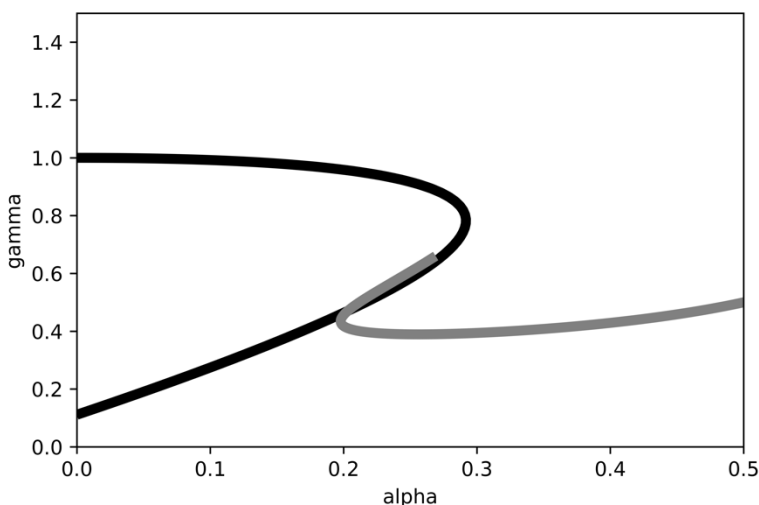


Рис. 3. График зависимости между  $\alpha$  и  $\gamma$ . Черная линия обозначает найденное симметричное смешанное равновесие Нэша для ДЗ в Марковских стратегиях, серая линия обозначает найденное равновесие квантового отклика для ДЗ в Марковских стратегиях.

Заметим, что равновесие квантового отклика для ДЗ в Марковских стратегиях сходится к симметричному смешанному равновесию Нэша для ДЗ в Марковских стратегиях при  $\lambda \rightarrow \infty$ , однако при больших значениях  $\lambda$  наблюдается вырожденность равновесия.

**В третьей главе** излагаются результаты проведенных лабораторных экспериментов, направленных на поиск предикторов кооперативного поведения.

**Раздел 3.1** посвящен описанию целей экономических экспериментов, а также правилу некоторых игр.

Суть исследования заключается в выявлении предикторов, сопровождающих изменение стратегий поведения от некооперативных к кооперативным под воздействием социализации. В качестве определения поведения выбраны четыре модели из теории игр – игра Дилемма Заключенного (ДЗ), игра

Ультимативный дележ (УД), Игра на доверие (ИД), социальная дилемма с коллективным риском (СДКР).

Правила игры ДЗ были введены в первой главе.

В УД задействованы два игрока. Одному из игроков дается сумма в 10 баллов, любую часть из которой от 0 до 10 игрок предлагает второму игроку. Если второй игрок соглашается на данный делёж, то он получает предложенную сумму, а первый игрок получает то, что у него осталось. Если второй игрок не принимает предложение первого игрока, то они оба получают по 0 очков. В совершенном по подыграм равновесии Нэша выгодно ничего не предлагать и принимать любые суммы.

В ИД один из двух участников может доверить другому участнику часть своих личных средств (от 0 до 10). Полученные (инвестированные) средства утраиваются, и любой частью этой увеличенной суммы Благодарный может поделиться с Доверителем. В совершенном по подыграм равновесии Нэша нет смысла в благодарности, а потому нет смысла и в доверии, что приводит к нулевому результату для обоих участников. В экспериментах и благодарность, и доверие в среднем существенно больше нуля.

Игра СДКР делилась на две фазы и представляла из себя следующее:

В Фазе 1 у группы из  $P$  участников изначально имеется общая касса, в которой находится  $X$  баллов. В течение  $N$  периодов участники имеют возможность изымать из общей кассы 0, 1, 2, 3 или 4 балла. Соответственно, должно выполняться равенство:

$$N \times P \times 4 = X,$$

где  $N$  – это число периодов,  $P$  – это число участников,  $X$  – это начальная сумма баллов в общей кассе.

После Фазы 1 каждый участник имеет некий суммарный выигрыш, равный количеству баллов, которые он изъяс в течение  $N$  периодов Фазы 1. А также известна сумма полного изъятия всеми участниками –  $Y$  баллов.

В Фазе 2 участники имеют возможность вернуть (инвестировать) обратно в общую кассу из той суммы, которую каждый из участников получил после Фазы 1.



В течение  $N$  периодов участники могут вкладывать в общую фазу 0, 1, 2, 3 или 4 балла. Цель группы участников – вернуть (инвестировать) 53% от суммы полного изъятия в Фазе 1 –  $Y$ . Если требуемый уровень вложений ( $0,53Y$ ) достигнут, то все участники получают суммы баллов, которые остались у них по окончании Фазы 2, то есть разницу между индивидуальным изъятием и индивидуальным вложением участника в общую кассу. Если же группа не достигает требуемого уровня вложений ( $0,53Y$ ), то с некоторой долей вероятности она не получает ничего. Вероятность все потерять определяется в зависимости от того, сколько процентов от  $X$  составляет  $Y$ :

Если  $Y \leq 25\%$  от  $X$ , то вероятность все потерять 2 к 12.

Если  $25\% < Y \leq 50\%$  от  $X$ , то вероятность все потерять 6 к 12.

Если  $50\% < Y \leq 75\%$  от  $X$ , то вероятность все потерять 9 к 12.

И если  $Y > 75\%$  от  $X$ , то вероятность все потерять 11 к 12.

Вероятности определяются с помощью вытягивания одной карточки из 12 карточек, пронумерованных от 1 до 12. Если в результате вытягивания карточек, требуемое условие вероятности выполняется, то все участники получают сумму баллов, которая осталась у них по окончании Фазы 2.

Исследования строились на серии экспериментов. Базовый дизайн эксперимента представляет из себя следующее. На каждый эксперимент приглашались 12 незнакомых друг с другом участников на добровольной основе. Перед экспериментом участники были оповещены, что в конце эксперимента они получат денежное вознаграждение, зависящее от успеха в течение эксперимента. Для проведения игры использовался программный продукт для программирования дизайна эксперимента и проведения групповых экспериментов в экспериментальной экономике z-Tree, разработанный в университете Цюриха. В первой части эксперимента участники в течение некоторого количества периодов играли в одну или две обозначенных игр. Игра была анонимная, участники каждый период игры случайным образом делились на пары, партнер также случайным образом менялся. После этого участники проходили через этап социализации, в течение которого участники знакомились и на добровольной основе формировали две группы по шесть человек. Такая лабораторная модель сочетает в себе классическую минимальную групповую парадигму (minimal group paradigm) из социальной психологии с групповыми

манипуляциями, которые вызывают чувство социальной привязанности (in-group favoritism) (Hertel, Kerr, 2001). После этого участники играли в те же игры, как в первой части, но уже в социализированных группах. Игра была аналогично анонимная, и напарники менялись случайным образом каждый период игры, но при этом участники точно знали, что играют только внутри своей социализированной группы. В результате эксперимента участники набирали различное число баллов (сумма выигрышей в обозначенных играх), которые переводились в реальное денежное вознаграждение, что соответствует методам экспериментальной экономики. Наличие вознаграждения обеспечивает реалистичность выбора в социальных дилеммах, что показывает валидность исследования. Методика проведения подобных исследований является общепринятой в научной среде.

**В разделе 3.2** описываются введение социальной компоненты функции полезности.

Считаем, что функция полезности от принятия экономического решения состоит из двух компонент:

$$U_i = U_i^0(z) + U_i^s(z),$$

где  $U_i^0(z)$  – это функция полезности индивидуума  $i$  от выигрыша  $z$ ,  $U_i^s(z)$  – функция социальной полезности от выигрыша  $z$  для индивидуума  $i$  (Lukinova, 2014).

Основная идея заключается в том, что потребность принадлежать к социальной группе переходит в часть полезности от принятия того или иного решения. Социальная составляющая полезности оправдывает уменьшение экономической полезности: сравнение выигрыша 10 при выборе «Не кооперировать» с выигрышем в 5 при кооперации. То есть выбор «Кооперации» с риском получить 0 или 5 вместо надежных 1 или 10 объясняется через нематериальный выигрыш от совершения справедливого по отношению к потенциальному напарнику действию.

Чтобы проверить гипотезу о социальном влиянии на принятие решений в социальных дилеммах были проведены экономические эксперименты в лабораторных условиях. Были разработаны три варианта дизайна эксперимента, в которых варьировались социальные условия.

Эксперимент состоял из трех частей. В первой части участники играли несколько периодов игры ДЗ анонимно в группе незнакомых друг с другом. Во второй части участники проходили через этап социального взаимодействия (социализации), который делился на три типа: тип 1 – назначенное разделение на группы с дальнейшим социальным взаимодействием (социализацией), тип 2 – социализация до эксперимента, устойчивые социальные группы, тип 3 – разделение на группы по выбору участников с дальнейшим социальным взаимодействием (социализацией). В третьей части эксперимента участники играли несколько периодов игры ДЗ анонимно, но в образовавшихся в части два социальных группах.

Основная гипотеза в данном исследовании заключалась в том, что уровень кооперации в игре ДЗ будет самым высоким в изначально сформированных группах, чуть ниже в социализированных группах с возможностью выбора группы, самым низким в социализированных группах с невозможностью выбора группы.

Таким образом, для компонент социальной полезности должно выполняться следующее условие:

$$U_{\text{тип } 2}^s(z) \geq U_{\text{тип } 3}^s(z) \geq U_{\text{тип } 1}^s(z),$$

где  $U_{\text{тип } 1}^s$  - это социальная полезность от реализованного выигрыша при принятии решений после социализации типа 1,  $U_{\text{тип } 2}^s$  - это социальная полезность от реализованного выигрыша при принятии решений после социализации типа 2,  $U_{\text{тип } 3}^s$  - это социальная полезность от реализованного выигрыша при принятии решений после социализации типа 3.

Анализ данных экспериментов показал, что наибольшее увеличение уровня принятия кооперативных решений было для типа 2, затем для типа 3, затем для типа 1. Можно считать, что каждое выбранное кооперативное решение несет в себе риск получить выигрыш в 0 баллов вместо по крайней мере 1 балла со 100% вероятностью при выборе некооперативного решения. Значит, компонента социальной полезности должна компенсировать этот риск, чтобы общая полезность от выигрыша была не ниже, чем при выборе некооперативного решения.

Тогда можно оценить снизу компоненту социальной полезности. Для первого типа социализации реализуется следующее неравенство:

$$U_{\text{тип } 1}^s(z) \geq 0,36 \times 20 \text{ (периодов)} \times 1 \text{ (балл)}$$
$$\Rightarrow U_{\text{тип } 1}^s(z) \geq 7,2$$

Аналогично для типов 2 и 3 социализации:

$$U_{\text{тип } 2}^s(z) \geq 0,69 \times 20 \text{ (периодов)} \times 1 \text{ (балл)}$$
$$\Rightarrow U_{\text{тип } 2}^s(z) \geq 13,8$$

$$U_{\text{тип } 3}^s(z) \geq 0,54 \times 20 \text{ (периодов)} \times 1 \text{ (балл)}$$
$$\Rightarrow U_{\text{тип } 3}^s(z) \geq 10,8$$

Следовательно, имеем следующее соотношение:

$$13,8 (U_{\text{тип } 2}^s(z)) > 10,8 (U_{\text{тип } 3}^s(z)) > 7,2 (U_{\text{тип } 1}^s(z))$$

Таким образом, показано социальное влияние на кооперативное поведение.

Некоторые результаты этого раздела опубликованы в работах [1, 3, 8, 10-12].

**Раздел 3.3** описывает исследования экономической устойчивости социальной компоненты функции полезности.

Следующим вопросом в моделировании предикторов кооперативного поведения является фактор экономического влияния на социальное окружение. Будет ли необходимость оплаты для возможности присоединиться к социальной группе ухудшать воздействие социализации на принятие кооперативных решений?

Для этого была разработана модификация дизайна эксперимента с третьим типом социального взаимодействия в части два из раздела 3.2, но с добавлением материального взноса для вступления в группу.

Тогда функция полезности для игрока будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} U_i = U_i^0(z - f) + U_i^s(z - f), f > 0 \\ U_i = U_i^0(z), f = 0 \end{cases},$$

где  $z$  – это выигрыш в игре в первой и третьей части,  $f$  – это взнос для вступления в группу,  $U_i^0(z)$  – это функция полезности индивидуума  $i$  от выигрыша  $z$ ,  $U_i^s(z)$  – функция социальной полезности от выигрыша  $z$  для индивидуума  $i$ .

Анализ данных проведенных экспериментов показал, что наличие материального взноса для вступления в группу не ухудшает влияние социального взаимодействия на кооперативное поведение. Более того, чем выше был материальный взнос, тем более кооперативное поведение участник выказывал во время эксперимента.

Некоторые результаты этого раздела опубликованы в работе [4].

**Раздел 3.4** описывает исследование кооперативного поведения в социальной дилемме с коллективным риском.

Известным примером социальных дилемм также является социальная дилемма с коллективным риском. В такой дилемме индивидуальные стратегии приводят к риску коллективных потерь. В данной части работы исследуется влияние социализации, а также пола участника на выбор стратегий в социальной дилемме с коллективным риском.

Дизайн эксперимента был описан выше. Теоретически в данной игре участникам выгодно изымать каждый период по 4 балла, чтобы суммарно извлечь все баллы. Вопрос с инвестированием обратно более сложный: число 53% было выбрано не случайно. Если бы участникам надо было возвращать 50%, то стратегия была бы очевидна: возвращать по 2 балла каждый период. Но с учетом 53%, хотя бы несколько участников должны пожертвовать в одном из периодов больше, чем 2 балла, чтобы получилось собрать необходимую сумму, но, если все жертвуют 3 балла, то это будет излишне.

Основным результатов здесь является то, что социальное взаимодействие или социализация приводят к росту кооперативного поведения, то есть участники игры начинают выбирают коллективные стратегии, а не индивидуальные.

**Раздел 3.5** описывает результаты исследования предикторов кооперативного поведения.

Проведенные эксперименты были направлены на изучение влияния гендера и менталитета участников на принятие решений в социальных дилеммах.

Оказалось, что ментальность влияет на уровень кооперации как в ситуации без социального взаимодействия, так и внутри социальных групп после социализации. Таким образом, социальная компонента функции полезности присутствует и в случае отсутствия явного социального влияния на принятие решений: дополнительное социальное взаимодействие может только усилить вес этой компоненты:

$$\begin{cases} U_i^1 = U_i^{0,1}(z, m) + U_i^{s,1}(z, m) \\ U_i^2 = U_i^{0,2}(z, m) + U_i^{s,2}(z, m) \end{cases}'$$

где  $U_i^0(z)$  – это функция полезности индивидуума  $i$  от выигрыша  $z$ ,  $U_i^s(z)$  – функция социальной полезности от выигрыша  $z$  для индивидуума  $i$ ,  $m$  – это переменная ментальности, 1 – это базовое состояние без социального взаимодействия, 2 – это состояние после социального взаимодействия.

Тогда, между социальными компонентами функции полезности для двух состояний зачастую выполняется следующее соотношение:

$$U_i^{s,1}(z) \leq U_i^{s,2}(z)$$

Кроме этого, получены результаты о различии в принятии решений между мужчинами и женщинами. То есть гендер также является независимой переменной для функции полезности:

$$\begin{cases} U_i^1 = U_i^{0,1}(z, m, g) + U_i^{s,1}(z, m, g) \\ U_i^2 = U_i^{0,2}(z, m, g) + U_i^{s,2}(z, m, g) \end{cases}'$$

где  $U_i^0(z)$  – это функция полезности индивидуума  $i$  от выигрыша  $z$ ,  $U_i^s(z)$  – функция социальной полезности от выигрыша

$z$  для индивидуума  $i$ ,  $m$  – это переменная ментальности,  $g$  – это гендерная переменная,  $1$  – это базовое состояние без социального взаимодействия,  $2$  – это состояние после социального взаимодействия.

Некоторые результаты этого раздела опубликованы в работах [5-7, 9].

**Раздел 3.6** посвящен анализу экспериментальных данных в разрезе полученных равновесий.

Полученные равновесия в главе 2 (симметричное смешанное равновесие Нэша для ДЗ в Марковских стратегиях и равновесие квантового отклика для ДЗ в Марковских стратегиях) были сопоставлены с экспериментальными данными, полученными в ходе экспериментов, описанных в разделах 3.2-3.5.

Для этого были найдены доли выбора кооперативной стратегии после некооперативной стратегии оппонента в предыдущем периоде игры ДЗ до и после социализации –  $\alpha$  (alpha), а также доли выбора кооперативной стратегии после кооперативной стратегии оппонента в предыдущем периоде игры ДЗ до и после социализации –  $\gamma$  (gamma). Таким образом, были сопоставлены полученные равновесия с экспериментально полученными значениями  $\alpha$  и  $\gamma$  (рис. 4).

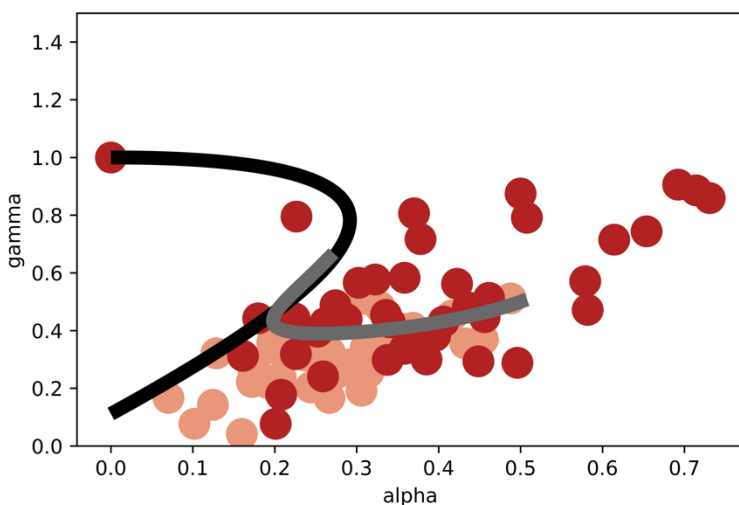


Рис. 4. График зависимости между  $\alpha$  и  $\gamma$ . Линия черного цвета обозначает найденное симметричное смешанное равновесие Нэша для ДЗ в Марковских стратегиях, линия серого цвета обозначает найденное равновесие квантового отклика для ДЗ в Марковских стратегиях, светло-красные и темно-красные точки соответствуют данным, полученным на лабораторных экспериментах (светло-красные – поведенческие данные до социализации, темно-красные – поведенческие данные после социализации).

Рис. 4. показывает, что экспериментальные данные до социализации достаточно хорошо интерпретируются с помощью равновесия Нэша для ДЗ в Марковских стратегиях. Экспериментальные данные после социализации близки к равновесию квантового отклика для ДЗ в Марковских стратегиях.

Некоторые результаты этого раздела опубликованы в работе [2].

**В заключении** изложены основные результаты диссертации.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

1. Были разработаны методы и подходы для поиска равновесия квантового отклика в математической модели, описывающей конфликт двух лиц, построенной с помощью Марковских стратегий.

2. Созданы комплексы программ для исследования найденного равновесия.

3. Проведены социально-экономические эксперименты, направленные на изучение природы кооперативного поведения; проведен анализ экспериментальных данных.

4. Построены математические модели формирования кооперативного поведения через предикторы в социальных дилеммах.

5. Сопоставлены теоретические результаты с полученными экспериментальными данными.

### **Список публикаций автора по теме диссертации**

1. Babkina T. Choice of the group increases intra-cooperation / T. Babkina, M. Myagkov, E. Lukinova, A. Peshkovskaya, O.



- Menshikova, E. Berkman // CEUR Workshop Proceeding. — 2016. — Vol. 1627. — P. 13—22.
2. Menshikov I. From rationality to cooperativeness: the totally mixed Nash equilibrium in Markov strategies in the iterated Prisoner's Dilemma / I. Menshikov, A. Shklover, T. Babkina, M. Myagkov // Plos One. — 2017. — Vol. 12, N 11.
  3. Бабкина Т. Оценка влияния конформизма, как социального фактора, на отношение к риску. Определение постоянной отношения к неприятию риска CRRRA / Т. Бабкина, А. Седуш // Модели и методы обработки информации: сборник научных трудов — 2016. — С.78—85.
  4. Lukinova E. Sociality is not lost with monetary transactions within social groups / E. Lukinova, T. Babkina, A. Sedush, I. Menshikov, O. Menshikova, M. Myagkov // CEUR Workshop Proceeding. — 2017. — Vol. 1968. — P. 18—30.
  5. Peshkovskaya A. The socialization effect on decision making in the Prisoner's Dilemma game: An eye-tracking study / A. Peshkovskaya, T. Babkina, M. Myagkov, I. Kulikov, K. Ekshova, K. Harriff // PloS one. — 2017. — Vol. 12, N 4.
  6. Peshkovskaya A. Gender effects and cooperation in collective action: A laboratory experiment / A. Peshkovskaya, T. Babkina, M. Myagkov // Rationality and Society. — 2019. — Vol. 31, N 3. — P. 337—353.
  7. Peshkovskaya A. Social context reveals gender differences in cooperative behavior / A. Peshkovskaya, T. Babkina, M. Myagkov // Journal of Bioeconomics. — 2018. — Vol. 20, N 2. — P. 213—225.
  8. Бабкина Т. Неприятие неравенства и его влияние на отношение к риску / Т. Бабкина, Е. Лукинова, М. Мягков // Межвузовский сборник научных трудов и результатов совместных научно-исследовательских проектов — 2015. — С. 35—53.
  9. Peshkovskaya A. Do Women Socialize Better? Evidence from a Study on Sociality Effects on Gender Differences in Cooperative Behavior / A. Peshkovskaya, T. Babkina, M. Myagkov, E. Lukinova // CEUR Workshop Proceeding. — 2017. — Vol. 1968. — P. 41—50.
  10. Седуш А. Влияние социализации на изменение социальной ответственности участников эксперимента с учетом

- гендерных и психологических характеристик / А. Седуш, О. Меньшикова, Т. Бабкина, Е. Гришкова // Модели и методы обработки информации: сборник научных трудов — 2016. — С. 86—89.
11. Lukinova E. Inequity Aversion Alters Risk Attitudes / E. Lukinova, T. Babkina, M. Myagkov // *Journal of Business and Economics* — 2015. — Vol. 6, N 4. — P. 673—687.
  12. Lukinova E. Choosing Your Teammates Creates Social Identity and Keeps Cooperation Rates High / E. Lukinova, T. Babkina, M. Myagkov // *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Economics and Management Engineering* — 2015. — Vol. 17. N. 7. — P. 473—479.