

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета  
на диссертацию Чирковой Юлии Васильевны на тему  
«Сетевые игры: равновесное и оптимальное поведение»,  
представленную на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук  
по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

**Актуальность темы исследования.** Работа Чирковой Ю.В. посвящена моделированию систем обслуживания с учетом их сетевой структуры, а также решению оптимизационных задач и нахождению равновесий в таких системах. Актуальность исследования не вызывает сомнений, поскольку мы окружены такими системами повсюду, как в обычной жизни (системы обслуживания в банках, колл-центры, системы автомобильных дорог и т.п.), так и в телекоммуникационной сфере. Не только число, но и размер таких систем постоянно растет, поэтому задачи управления такими системами являются все более актуальными. В работе уделяется особое внимание важному показателю таких систем, цене анархии, который оценивает, насколько равновесное поведение игроков (при их индивидуальном подходе) проигрывает по сравнению с социально-оптимальным поведением, т.е. оценивает, насколько существенным является вклад «управления» или централизации поведения элементов этих систем. Данное диссертационное исследование позволяет идентифицировать такие системы и оптимизировать их работу при необходимости. Все результаты, представленные в работе, реализованы на численных примерах, автором разработаны алгоритмы нахождения предложенных решений.

**Содержание работы.** Диссертация состоит из введения, 14 глав и заключения, включает 352 страницы в русскоязычной версии. Список литературы содержит 194 наименования. Главы 1-3 посвящены решению задач выбора оптимального момента обращения к системам обслуживания с различными характеристиками. В первой главе исследуется система обслуживания с двумя серверами и случайным доступом, во второй главе – система обслуживания с вытеснением, в третьей – система обслуживания с повторными вызовами. В четвертой главе решается задача выбора базовой станции с одним, двумя и многими игроками. В пятой главе используется теоретико-игровой подход для моделирования поведения конкурирующих виртуальных операторов на двухстороннем рынке телекоммуникаций. В шестой главе представлены результаты анализа модели передачи данных с неделимым трафиком, находятся равновесия в чистых и полностью смешанных стратегиях. Игры балансировки загрузки изучаются в седьмой и восьмой главах, причем, в восьмой главе функции задержек содержат экстерналии линейного типа. Игры покрытия вычислительных узлов описаны в девятой и десятой главах, где анализируется цена анархии в случае наличия или отсутствия экстерналии. В одиннадцатой главе делается обобщение методики нахождения цены анархии в задаче балансировки загрузки и покрытия вычислительных узлов с линейными задержками. Модели Вардропа изучаются в главах 12-14, где решается задача оптимальной маршрутизации с разделяемым трафиком и параллельными каналами, а также строится байсовский вариант модели Вардропа с параллельными каналами. В 14-ой главе предлагается способ изменения параметров системы в рамках транспортной модели Вардропа с экстерналиями, чтобы

добиться единичного значения цены анархии. В конце каждой главы дается краткий обзор ее результатов.

**Научная новизна.** Диссертационная работа содержит много новых интересных моделей, которые объединяет наличие сетевой структуры как основы взаимодействия игроков. Для всех представленных моделей автор находит то или иное решение. Если предполагается и обосновывается эгоистическое или индивидуально-рациональное поведение игроков, то находится равновесие по Нэшу или равновесие по Вардропу (для некоторых моделей). Если же предполагается, что участники могут централизованно принимать решения или имеется управляющий центр, то находится оптимальное поведение игроков, которое максимизирует социально-ориентированную целевую функцию. Во многих моделях автором получены значения цены анархии или ее оценки. С началом массового изучения сетевых моделей, этому коэффициенту, являющемуся мерой того, насколько система проигрывает, допуская эгоистическое поведение игроков, по сравнению с централизованным управлением поведением участников сети. Новые результаты о равновесиях и оптимальном поведении в описанных в работе системах являются основой для построения мультиагентных систем, реализуемых на практике в различных сферах деятельности человека.

**Теоретическая и практическая значимость.** Результаты диссертационной работы Чирковой Ю.В. получены для области сетевых игр. Теоретическая значимость диссертации заключается в большом наборе новых теоретико-игровых моделей, а также результатах о равновесном и оптимальном поведении участников конфликтных ситуаций, рассматриваемых в присутствии сетевых структур. Все предложенные модели представляют собой математическое описание конфликтных ситуаций, встречающихся на практике, при использовании реальных сетей (транспортных, телекоммуникационных, социальных). В этом и заключается практическая ценность работы, она определяется областью применения исследуемых прикладных моделей: при математическом моделировании систем массового обслуживания, распределенных вычислений, систем связи, мобильных сетей, при решении задач оптимальной маршрутизации в телекоммуникационных и транспортных сетях, а также экономических моделей рынка. Исследования Чирковой Ю.В. были поддержаны многими научными фондами, среди них есть грант РНФ “Разработка и исследование математических моделей и программ нахождения равновесия транспортных потоков и оптимизации транспортной сети на примере Петрозаводска” совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия, который явно подразумевает прикладной характер проводимых исследований.

**Степень обоснованности научных положений.** Достоверность полученных научных результатов обусловлена строгим доказательством всех сформулированных математических утверждений. Результаты работы Чирковой Ю.В. были доложены на многих российских и международных конференциях высокого уровня. Научное исследование было поддержано несколькими грантами ведущих российских научных фондов. Основные результаты диссертации опубликованы в 23 работах, включая монографию и учебное пособие, опубликованные Чирковой Ю.В. в соавторстве с научным

консультантом данной диссертации. Практически все статьи автора исследования опубликованы в ведущих научных печатных изданиях, в том числе, индексируемых в базах Scopus или Web of Science.

**Замечания к диссертационной работе.** Хочется отметить высокий математический уровень автора, текст диссертации написан грамотно, повествование последовательное, все утверждения четко сформулированы и доказаны в работе. К работе имеются следующие замечания:

1. На стр. 36 сказано: «Возможна ситуация, когда несколько пользователей обращаются в систему в одно и то же время. Тогда система может направить на один сервер больше одного запроса». Не требуется ли введения максимального количества запросов, которые одновременно могут быть направлены на один сервер? Если нет, то является ли возможной обработка существенно большого числа запросов для телекоммуникационных систем?
2. В главе 1 получены равновесия для случая, когда система не загружена в начальный момент времени. Можно ли сказать, каким будет симметричное равновесие, если в начальный момент она загружена?
3. В таблице 1.1  $p_e$  немонотонна по  $N$  для случая  $r = 0.1$ . Если это не опечатка, то как это можно объяснить? Также кажется, что значение  $t_e$  для случая  $r = 0,1$  и  $N=2$  близко к 0,1, если оценить его по рисунку 1.1, а в таблице оно равно 0,999. В таблице 1.2 значение  $t_e = 0,114$  для  $\lambda=100$  выглядит тоже как опечатка, если посмотреть на рис. 1.4. Еще вызывает сомнение немонотонность  $C(p_e)$  в таблице 1.5 (см. значение 0,0069). Исходя из вида функции  $C$ , она убывает по  $p_e$ , так ли это?
4. Если посмотреть на таблицы 1.3, 1.4, 1.7, 1.8, то можно сказать, что максимум цены анархии достигается при значениях  $N$  от 2 до 20. Таким образом, системы с небольшим числом  $N$  более всего нуждаются в координации действий/управлении для достижения социального оптимума. Справедливо ли это утверждение в общем виде для систем, рассмотренных в главе 1, или это сильно зависит от параметров системы?
5. На стр. 125 не уточняется, в каком классе стратегий находится наилучший ответ на стратегию первого игрока.
6. Считаю, что результаты параграфов 4.2.1, 4.2.2 и 5.2.1 можно было бы оформить в виде утверждений или теорем.
7. В параграфе 4.3 дается формула SINR, где используется  $\rho$ , которое не определено.
8. На стр. 212 в описании модели вводится понятие экстерналии. Можно ли дать пример таких экстерналий в реальной вычислительной системе? Они могут быть как положительными, так и отрицательными?
9. В теореме 8.2 на стр. 220 определяется  $Est^{max}(S)$ , где  $S$  – система. Тремя строчками ниже и на стр. 222 встречается  $Est^{max}(s)$ , где  $s$  – число, параметр системы  $S$ . Наверное, это опечатки.
10. В главах 9 и 10 решается задача максимизации минимальной задержки. Почему именно в таком виде выбрана целевая функция? Почему не решается задача минимизации максимальной задержки? Последняя кажется более социально-значимой задачей.

11. По рис. 10.1 можно ли сделать общий вывод о том, что максимальное значение цены анархии достигается при  $s=1$ ? Можно ли утверждать, что экстерналии являются хорошим инструментом для борьбы с «большой анархией» и создания системы управления агентами (игроками), чтобы сделать мультиагентную систему социально-оптимальной?

Указанные замечания не сказываются на общем положительном впечатлении от данной диссертационной работы. Работа содержит много существенных результатов для области сетевых игр, маршрутизации и оптимизации сетей. Диссертация является законченным научным исследованием в области сетевых игр, содержит в себе важные с теоретической и практической точки зрения результаты, которые аккуратно описаны и доказаны автором в работе. Автор исследования имеет большое число публикаций по теме исследования в ведущих российских и международных научных изданиях, включенных в перечень ВАК и индексируемых в международных наукометрических базах (Scopus и Web of Science). Результаты работы были доложены на семинарах ведущих научных центров и на известных российских и международных конференциях. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

**Заключение.** Диссертация Чирковой Юлии Васильевны на тему: «Сетевые игры: равновесное и оптимальное поведение» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 №11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Чиркова Юлия Васильевна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности «1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика». Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Председатель диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук, доцент  
профессор Кафедры математической теории игр  
и статистических решений,  
Санкт-Петербургский государственный университет



Е.М. Парилина  
29.05.2023