

# Лабораторный анализ социальных и психофизиологических аспектов формирования информационных каскадов

Меньшиков И.С.<sup>1,2</sup>, Меньшикова О.Р.<sup>2,3</sup>, Седуш А.О.<sup>2</sup>, Старков Д.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук,

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>3</sup>Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

**Проблема.** Развитие технологий коммуникаций, в том числе социальных сетей, способствует ускорению процесса формирования собственных убеждений человека в результате наблюдения за поведением и мнением других людей. Это явление получило название информационного каскада (ИК). Каждый индивид последовательно оказывается перед проблемой выбора: присоединиться к уже сложившемуся общественному мнению или проявить неконформизм на основе своей приватной информации о событии.

Ранее было показано, что процессы формирования ИК можно изучать в лабораторных условиях [1]. Для исследуемой лабораторной игры рациональное поведение, соответствующее равновесию Нэша, порождает длинные ИК, которые, будучи сформированными, уже не разрушаются. Более того, в данной лабораторной игре концепция равновесия Нэша в отличие от социальных дилемм вполне соответствует общественному идеалу в смысле максимизации суммарного выигрыша и его справедливого распределения.

Тем не менее, результаты многочисленных экспериментов свидетельствуют о существенных отклонениях от рационального поведения в этой игре. В [2-3] такие отклонения трактуются как случайные ошибки в рамках концепции Quantal Response Equilibrium (QRE). Действительно, QRE лучше согласуется с результатами экспериментов, чем равновесие Нэша. Однако для поведенческой экономики остается неясным вопрос: есть ли в этих отклонениях от рационального поведения черты систематических ошибок?

Ответ на данный вопрос, на наш взгляд, может быть получен при детальном анализе наблюдаемого разнообразия индивидуального поведения с учетом психофизиологических характеристик участников лабораторных экспериментов.

**Подход к решению, модель.** Для решения данной проблемы была использована игра «Выбери урну». Она состояла в том, что равновероятно выбирается одна из двух урн А или В, причем выбор урны остается тайной для участников до окончания игры. Известно, что в урне А лежат 3 белых шара и 2 красных, в урне В – 3 красных и 2 белых шара. Участники располагаются случайным образом в некоторую очередь, каждому из

них показывается случайный шар из той урны, которая была определена до начала игры. Эта информация является приватной, то есть все остальные не видят, какой шар показали данному участнику. Его задача состоит в том, чтобы угадать урну, то есть высказать свое мнение о событии: А или В. Кроме приватной информации о своем шаре каждый участник получает информацию о мнениях других участников, высказанных до того момента, как до него дошло право хода. Игра заканчивается, когда последний по очереди участник высказал свое мнение. После этого информация о выборе урны открывается. Те, кто угадали урну, получают приз, остальные не получают ничего.

В 2017 году в Лаборатории экспериментальной экономики МФТИ (ЛЭЭ) было проведено 10 экспериментов по ИК, в каждом из которых участвовало 10 добровольцев (в основном студенты МФТИ различных факультетов), то есть всего - 100 человек (55 мужчин и 45 женщин). Каждый эксперимент состоял из 15 независимых попыток.

ЛЭЭ оснащена десятью стабилографическими креслами [4-7], которые позволяют измерять функциональное состояние группы испытуемых в процессе эксперимента. Кроме того, до эксперимента все участники проходили ряд психологических тестов. В данном изложении мы остановимся только на учете результатов теста Сандры Бем [8], который позволил выявить ряд интересных закономерностей.

Для анализа рационального агрегированного поведения мы использовали QRE и его модификацию QRE-BRF [1]. Параметры QRE и QRE-BRF были вычислены по каждому эксперименту с использованием метода наибольшего правдоподобия.

Для анализа отклонений от рационального поведения была введена категория иррациональных действий участников: это мнения, противоположные приватному сигналу, участника, сделавшего первый ход, и мнения, разрушающие сформированный каскад против полученного сигнала. Отметим, что противоположный приватному сигналу прогноз в пользу сформированного каскада иррациональным действием не считался.

### **Ключевые понятия.**

Информационный каскад – ситуация, когда индивид, принимая решение, копирует поведение других участников, уже сделавших выбор, не беря в расчет имеющуюся у него информацию. Данный эффект часто возникает в ситуациях, когда агенты делают выборы поочередно, например, на финансовых рынках. Формализуем простейшую модель информационного каскада. Имеется множество игроков  $T$ , поочередно делающих выбор из двух альтернатив  $A$  и  $B$ , одна из которых заранее с вероятностью 0.5 определена природой как правильная. Перед тем как сделать выбор каждый игрок получает приватный сигнал, который с вероятностью  $q > \frac{1}{2}$  указывает на правильную

альтернативу. В нашей игре «Угадай урну»  $q = 0.6$ . Помимо приватного сигнала игрок  $t$  видит все выборы, сделанные игроками до него, и на основании этого уже делает какие-то выводы о вероятности  $p_t$  правильного состояния. Информация об уже сделанных ходах является общедоступной, поэтому предполагается, что все игроки одинаково оценивают вероятность правильного состояния к моменту  $t$ . После получения сигнала мнение рационального игрока о правильной альтернативе (ее вероятность) формируется на основе общего мнения  $p_t$  и своего сигнала по формуле Байеса:

$$\pi_t(p_t) = \frac{qp_t}{qp_t + (1-q)(1-p_t)}$$

Поскольку  $p_1 = 0.5$ , то  $\pi_1(p_1) = q$ . В нашем случае вероятность того, что сигнал указывает на правильную альтернативу (белый шар на  $A$ , красный шар на  $B$ ) равна 0.6.

Каскадом в данной модели будем считать три и более подряд повторения одного и того же выбора. Началом каскада будем считать третий из одинаковых выборов.

Если в игре «Угадай урну» выигрывают все, кто указал на правильную альтернативу, то можно без особого труда найти в такой игре совершенное по подыграм равновесие Нэша. Опишем его. Первый игрок должен сделать выбор в соответствии с сигналом, поскольку в этом случае его ожидаемый выигрыш равен  $q$ , а это больше, чем  $1-q$  в случае хода против сигнала. Второй игрок, понимая, что рациональный первый игрок будет следовать сигналу, если его сигнал совпадает с выбором предыдущего игрока, тем более будет следовать своему сигналу. В противном случае он оказывается в ситуации выбора из двух равновероятных и поэтому равнозначных для него вариантов. Будем считать, что с некоторой вероятностью  $\beta \geq \frac{1}{2}$  он делает выбор в пользу своего сигнала.

Третий игрок, если предыдущие два выбора были одинаковы, должен игнорировать свой сигнал, заканчивая формирование каскада. Если ходы первого и второго игрока различаются, то третий игрок оказывается в позиции первого и должен делать выбор в пользу сигнала. После трех одинаковых повторений выбора урны в равновесии Нэша все остальные игроки должны повторять этот сигнал. Таким образом, в сообществе рациональных игроков, если каскад сформировался, то он никогда не развалится. Заметим, что за формирование правильного каскада фактически отвечают те игроки, которые его формируют. Присоединение к каскаду все новых игроков в равновесии Нэша не изменяет общественного мнения  $p_t$  о правильном состоянии.

Поведение людей, как правило, далеко от рационального, поэтому равновесие Нэша в лабораторных экспериментах встречается редко. В качестве попытки учесть

иррациональность поведения группы людей предлагается использовать равновесие квантильного отклика (QRE). Фактически QRE задает модель поведения не вполне рациональных людей, полагая, правда, что нерациональные действия тем менее вероятны, чем к меньшему ожидаемому выигрышу они могут привести. Можно считать, что участники оценивают ожидаемые выигрыши с ошибками, которые полагаются случайными, распределенными на основе логистического распределения с параметром  $\lambda$ .

Опишем модель поведения игроков на основе QRE для нашего случая  $q = 60\%$  и типичного значения  $\lambda = 3.5$ , которое согласуется с результатами проведенных нами экспериментов для многих групп.

1. На первом ходу игрок видит свой сигнал  $i$ , в отличие от равновесия Нэша, следует ему только с вероятностью 67%. Нерациональный выбор против сигнала в данном случае совершается с вероятностью 33%. Эти вероятности берутся пропорционально величинам  $\exp(\lambda q)$  и  $\exp(\lambda(1-q))$ , поскольку ожидаемые выигрыши равны  $q$  и  $1-q$ , соответственно.

2. Остальные игроки не видят сигнала игрока 1, а видят только его ход и знают, насколько он рационален (какой смешанной стратегии придерживается игрок 1). В частности, они понимают, что игрок 1 может сделать нерациональный ход. На основе этого они смещают мнение в пользу выбора игрока 1, полагая, что он прав с вероятностью 53%.

3. Если игрок 2 получит сигнал, подтверждающий ход игрока 1, то он последует сигналу с вероятностью 71.6%. В противном случае, когда сигнал противоречит выбору игрока 1, игрок 2 последует своему сигналу с вероятностью 61.6%.

4. При одинаковых выборах первых двух игроков игрок 3 считает этот выбор верным с вероятностью 56.4%. Если при этом ему приходит такой же сигнал, то он следует ему с вероятностью 75.3%. При противоположном сигнале игрок 3 отдаст предпочтение сигналу с вероятностью 56.5%.

5. При различных выборах первых двух игроков мнение третьего незначительно склоняется в сторону последнего выбора. В случае, если сигнал игрока 3 совпадает с выбором игрока 2, игрок 3 следует своему сигналу с вероятностью 67.3%, в противном случае эта вероятность чуть меньше – 66.3%

Как видим, игроки более склонны верить своему сигналу (при данном  $\lambda$ ), а при одинаковых выборах вероятность повторения ходов увеличивается. Однако всегда сохраняется вероятность иррациональных действий, причем при данном параметре довольно высокая. Вероятность выбора того или иного состояния в QRE при заданном параметре  $\lambda$  есть функция, зависящая от реализовавшихся последовательностей сигналов

и действий игроков. Имея в распоряжении результаты экспериментов, можем оценить параметр  $\lambda$  исследуемой группы участников методом наибольшего правдоподобия.

При увеличении  $\lambda$  игроки ведут себя все более рационально, а в пределе при  $\lambda \rightarrow \infty$  получается равновесие Нэша. При  $\lambda \rightarrow 0$  имеем полностью случайный (равновероятный) выбор, не основанный ни на какой поступающей информации. В проведенных нами экспериментах параметр  $\lambda$  менялся в диапазоне от 2.24 до 6.49.

Пусть с некоторой ошибкой, но мнение игрока в равновесии квантильного отклика основывается на формуле Байеса, характеризующей рационального игрока. Однако, как показывает практика, люди склонны недооценивать роль общей информации и переоценивать приватную информацию. Данный феномен имеет название ошибки базового процента и также может быть учтен в равновесии квантильного отклика, путем некоторого его обобщения (QRE-BRF). В модели QRE-BRF возникает дополнительная ошибка от переоценки участниками своего приватного сигнала, величина которой может регулироваться при помощи параметра  $\alpha > 0$ . Мнение игрока  $t$  о правильной альтернативе при этом формируется согласно модифицированной формуле Байеса:

$$\pi_t(p_t | \alpha) = \frac{q^\alpha p_t}{q^\alpha p_t + (1-q)^\alpha (1-p_t)}$$

Рациональным агентам соответствует  $\alpha = 1$ . Чем больше агент игнорирует общую информацию и переоценивает приватную информацию, тем больше  $\alpha$  превосходит 1. Вариант с  $\alpha < 1$  соответствует обратной ситуации: переоценка общей информации, но он встречается значительно реже. В данной модификации вероятность выбора игроком того или иного состояния есть функция двух переменных  $\lambda$  и  $\alpha$ , которые также могут быть рассчитаны методом наибольшего правдоподобия.

### Основные результаты

1. Результаты проведенных нами экспериментов на уровне агрегированного поведения существенно лучше согласуются с QRE, чем с равновесием Нэша. Параметры QRE и QRE-BRF практически во всех случаях лежат в диапазоне, близком к полученному в [1]. Это показывает, что эксперименты по ИК были проведены адекватно.

В целях детального сравнения результатов экспериментов с моделью QRE каждый участник эксперимента фактически заменялся ботом с заданными вероятностями действий в зависимости от поступающей информации. При заданной последовательности сигналов для каждого эксперимента разыгрывалось 100 вариантов поведения ботов на основе QRE. Аналогично для всех экспериментов моделировалось поведение рациональных участников на основе равновесия Нэша.

Сравнение поведения участников экспериментов и ботов проводилось по следующим показателям: (1) длина каскадов, (2) начало каскадов, (3) процент иррациональных действий (иррациональным считаем первый выбор против сигнала, либо выбор, совершенный одновременно как против сигнала, так и против сформированного каскада).

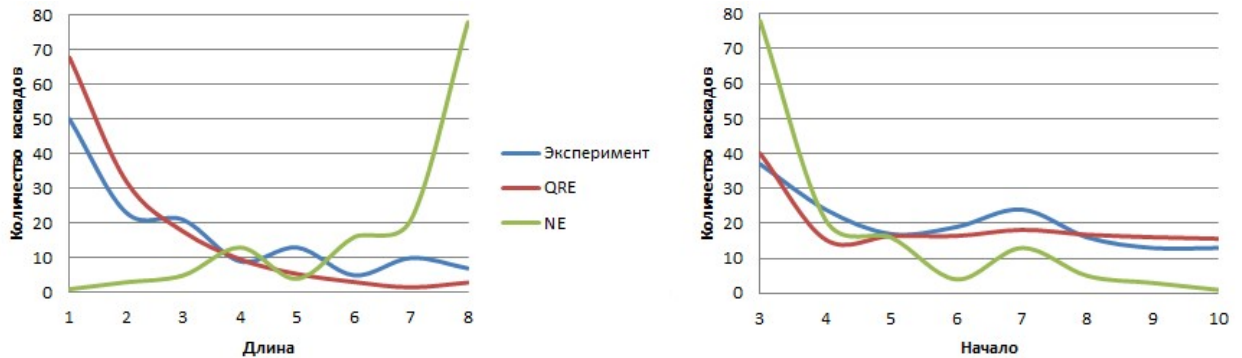


Рис. 1. Длина и начало каскадов в среднем по всем экспериментам

Из рис. 1 следует, что модель QRE намного лучше согласуется с экспериментом, чем равновесие Нэша, дающее более длинные каскады с более ранним началом. Действительно, разница в длине каскадов в эксперименте и равновесии Нэша при тех же сигналах статистически значима во всех 10 экспериментах (Wilxon rank sum test,  $p\text{-value} \in [0.00000012; 0.0046]$ ,  $|Z| > 2.8$ ). В аналогичном сравнении с равновесием QRE только в 2-х экспериментах получаем статистически значимую разницу (Wilxon rank sum test,  $p\text{-value} < 0.07$ ;  $Z > 1.8$ ), во всех остальных экспериментах статистически значимой разницы выявлено не было (Wilxon rank sum test,  $p\text{-value} > 0.22$ ;  $-0.77 < Z < 1.25$ ).

В отличие от длин, моменты начала каскадов в равновесии Нэша отличаются от эксперимента не так значительно. Однако на рис. 1 видно, что QRE лучше описывает эксперимент и по этому параметру. Действительно в 7 из 10 экспериментах разница моментов начала каскадов в равновесии Нэша статистически значима (Wilxon rank sum test,  $p\text{-value} < 0.114$ ;  $|Z| > 1.57$ ). Только в трех из 10 экспериментов разница с равновесием Нэша статистически незначима (Wilxon rank sum test,  $p\text{-value} > 0.18$ ;  $|Z| < 1.35$ ). В случае с QRE только в двух экспериментах разница по началу каскадов оказалась статистически значимой (Wilxon rank sum test,  $p\text{-value} < 0.05$ ;  $Z < -1.9$ ). В остальных экспериментах статистически значимой разницы нет (Wilxon rank sum test;  $p\text{-value} > 0.22$ ;  $Z < 0.75$ ).

2. 67% участников никогда не совершали иррациональных действий. Под рациональными действиями мы понимаем следование своему сигналу на первом ходу и следование сформированному каскаду (как в равновесии Нэша) при получении такого же сигнала, как в каскаде. Заметим, что иррациональные действия не только снижают ожидаемый выигрыш участника, но и дают ложную информацию остальным.

Оказалось, что иррациональных выборов QRE делается значительно больше, чем в исследуемых группах. В среднем в QRE совершается на 40% иррациональных выборов больше, чем в экспериментах. Разница в проценте иррациональных выборов в QRE и в экспериментах статистически значима (Wilxon rank sum test;  $p$ -value = 0.0112;  $Z=-2.5362$ ). Таким образом, нельзя утверждать, что модель QRE достаточно хорошо описывает для данной задачи отклонение от рационального выбора. В простых ситуациях первого хода или при совпадении сложившегося мнения в каскаде с собственным сигналом отклонение от рационального выбора хотя и наблюдаются, но существенно реже, чем в модели QRE.

### 3. Гендерные различия в совершении иррациональных действий.

Учет психологического пола согласно тесту Сандры Бем позволяет разбить всех участников на 4 группы: маскулинные мужчины (35), феминные мужчины (20), маскулинные женщины (20), феминные женщины (25).

Самый простой вид иррациональности – отклонение от сигнала для первого хода. Доля иррациональных ходов данного типа в экспериментах составляет 21.8%, причем для мужчин – 19.4% и для женщин – 24.3%. Доля иррациональных первых ходов минимальна у маскулинных мужчин (14.6%) и максимальна у феминных мужчин (29.2%). Маскулинные женщины (27.6%) и феминные женщины (22.0%) занимают промежуточные позиции по этому признаку.

Другой вариант иррациональности – это когда игрок разрушает сформировавшийся каскад, хотя полученный им сигнал совпадает с мнением каскада. Доля такого типа иррациональных ходов составляет всего 7.8%. Доля иррациональных ходов этого типа максимальна у маскулинных мужчин (9.1%) и минимальна у феминных мужчин (6.7%). Маскулинные женщины (8.3%) и феминные женщины (7.1%) опять занимают промежуточные позиции и по этому признаку также.

Отметим, что вычислительные эксперименты по модели QRE в сопоставимых условиях дают 30% иррациональных первых ходов и 17% ходов против сигнала и каскада. Это подтверждает вывод о том, что в простых ситуациях люди ведут себя более рационально, чем предсказывает модель QRE. В модели QRE-BRF доля иррациональных первых ходов снижается до 25%, но доля ходов против сигнала и каскада возрастает до 21%. Таким образом, проблема моделирования иррациональных действий остается.

4. Следуя логике модели QRE-BRF, введем коэффициент неконформизма (НК) как отношение числа ходов по своему сигналу, разрушающему каскад, к числу ходов, когда свой сигнал игнорируется в пользу сложившегося в каскаде мнения общества. В целом по всем экспериментам НК равен 42.4%, причем имеется гендерное различие (37.6% у

мужчин и 48.1% у женщин). Если учесть психологический пол, то наблюдается более резкое расслоение: максимум у феминных женщин (53.9%), а минимум у феминных мужчин (30.3%). Остальные две группы: маскулинные мужчины (41.7%) и маскулинные женщины (42.1%) занимают промежуточное положение. Таким образом, наибольший нонконформизм проявили феминные женщины, а наибольший конформизм – феминные мужчины.

5. Сравнивая поведение в экспериментах четырех рассматриваемых групп участников, которые определяются биологическим и психологическим полом, можно сделать следующие выводы.

- Маскулинные мужчины. Реже оказываются в каскаде и чаще его разрушают, в том числе и против сигнала, меньше других игнорируют свой сигнал на первом ходу.
- Феминные мужчины. Чаще всех оказываются в каскаде, реже других разрушают каскад, в том числе и по сигналу, склонны игнорировать свой сигнал на первом ходу, конформисты.
- Маскулинные женщины. Склонны больше других подстраиваться под каскад, игнорируя свой сигнал, участвуют в формировании каскада.
- Феминные женщины. Часто оказываются вне каскада, редко подстраиваются под каскад, игнорируя свой сигнал, нонконформисты.

6. Стабилографические измерения проводились для всех участников эксперимента в состоянии покоя до и после игры: 30 секунд с открытыми глазами и 30 секунд с закрытыми глазами, а также в процессе игры. Было установлено, что состояния покоя до и после эксперимента практически не различимы для всех испытуемых, что подтверждает безопасный уровень когнитивной нагрузки в процессе игры без перевозбуждения или чрезмерного утомления.

В процессе игры участникам с правом хода давалось 10 секунд на обдумывание решения, после чего становились активными кнопки А и В, соответствующие выбору урны. Задержка в 10 секунд была выбрана для того, чтобы по возможности отделить фазу нажатия кнопки, связанную с некоторой двигательной активностью.

Учет стабилографического показателя энергия [4] позволят выделить группу из 5 участников (все мужчины) с наибольшей активностью функционального состояния в процессе эксперимента в фазе принятия решений. Было установлено, что эти участники не совершали иррациональных действий. Группа из 31 участника (14 мужчин и 17 женщин) с наибольшим количеством иррациональных действий на первом ходу характеризуется существенным расслоением по активности, измеряемой энергией во время принятия



решения. Минимальную активность демонстрируют маскулинные мужчины, а максимальную маскулинные женщины.

**Новизна.** Впервые лабораторные эксперименты по формированию информационных каскадов были проведены с измерением функционального состояния участников с помощью стабิโลграфических кресел. В целом агрегированное поведение участников эксперимента согласовано с концепцией QRE, допускающей случайные ошибки при принятии решений. Однако на уровне индивидуального поведения наблюдаются существенные различия, связанные с совершением иррациональных действий. Две трети всех участников не совершали иррациональных действий, а значит, действительно, были сосредоточены на соотнесении приватного сигнала с общественным мнением, выраженным сформировавшимся каскадом. Распределение иррациональных действий по участникам существенным образом зависит от биологического и психологического пола, а также от активности участника, измеренной в процессе проведения эксперимента с помощью методов стабิโลграфии.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантом РФФИ 16-01-00633А.

### **Литература**

1. Goeree J.K., Palfrey T. R., Rogers B.W., McKelvey R.D. Self-Correcting information cascades // California Institute of Technology, Division of the humanities and social sciences. – 2004, Social working paper 1197.
2. McKelvey R.D., Palfrey T.R. Quantal response equilibria for normal form games // Games and economic behavior, 10, pp. 6-38, 1995.
3. McKelvey R.D., Palfrey T.R. Quantal Response Equilibria for Extensive Form Games // Experimental Economics, 1, pp. 9–41, 1998.
4. Лукьянов В.И., Максакова О.А., Меньшиков И.С., Меньшикова О.Р., Чабан А.Н. Функциональное состояние и эффективность участников лабораторных рынков. – Изв. РАН. ТиСУ. 2007. № 6. С. 202–219.
5. Бурнаев Е.В., Меньшиков И.С. Модель функционального состояния участников лабораторных рынков // Изв. РАН. ТиСУ. – 2009. – № 6, – С. 187-204.
6. Меньшиков И.С. Анализ функционального состояния участников лабораторных рынков. – Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2009. Т. 6. С. 125-152.
7. Меньшиков И.С. Лабораторный анализ влияния контекста на процесс принятия решений // Труды МФТИ. – 2014.– 6, №4, С. 67-77.
8. Bem S.L. The measurement of psychological androgyny // J. of Consulting and Clinical Psychology? V/ 42, No. 2, pp. 155-162.