

Алгоритмы динамического ценообразования в условиях конкуренции на двусторонних рынках: решение задачи назначения цен и оптимальных инвестиций в запасы

Научный руководитель – Челноков Александр Юрьевич

Ермольчук Роман Сергеевич

Студент (бакалавр)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Экономический факультет, Москва, Россия

E-mail: kabinnet.2308@gmail.com

Онлайн-ритейл – это бурно развивающийся рынок, с каждым годом привлекающий все больше компаний, работающих по принципу “Business-to-Consumer”. По данным Ассоциации компаний интернет торговли¹, за последние 10 лет только в России объем продаж через Интернет вырос больше чем в 10 раз. При этом с развитием технологий компании получают возможность оптимизировать свою деятельность на основе больших данных и различных алгоритмов. Среди последних выделяют алгоритмы динамического ценообразования (DP) как наиболее часто используемые на практике и, тем не менее, порой влекущие непредвиденное поведение.

В научных работах широко освещена возможность образования “негласного” сговора DP алгоритмов при конкуренции на различных рынках. Так, в статье [1] авторы сравнивают частоты возникновения сговоров и сверхприбыли, возникающие вследствие них, у самых популярных алгоритмов и приходят к тому, что такое поведение наблюдается у всех из них. Такие результаты с учетом существующих исследований об устройстве механизмов агрегирования предложения на двусторонних рынках для противодействия сговорам [2] ставят вопрос о том, как изменится такой эффект, если к фирмам добавить еще одного экономического агента со своей оптимизационной задачей – саму платформу.

В данной работе представлена постановка модели конкуренции на двустороннем рынке с платформой. Его модель представляет собой конкуренцию по Берtrandу с логистической функцией спроса. Фирмы наследуют свою оптимизационную задачу из [3], так как в данной статье авторы наиболее полно описывают задачу компании-ритейлера, оптимизирующую прибыль на бесконечном горизонте и имеющую в качестве основного источника издержек инвестиции в запасы собственного товара. В то же время сама платформа агрегирует предложение каждой фирмы с помощью алгоритма \mathcal{K} , которому на вход подаются связанные с ней параметры (цена товара и среднее значение удовлетворенного спроса в m последних периодах) и результат которого (коэффициент бустинга) подставляется напрямую в функцию спроса. Прибылью же платформы являются платы фирм за хранение их товаров на ее складах.

Для каждой фирмы задача в такой постановке является Markov Decision Problem, что ограничивает список возможных для использования алгоритмов. В данной работе используется алгоритм TN-DDQN (Double Deep Q-Network with a target network), предложенный в [3], и алгоритм TQL (Tabular Q-Learning) для сравнения с ним в случаях, где это возможно. Помимо этого проводятся симуляции с различными параметризациями алгоритмов.

В результате оказывается, что даже в отсутствие платформы наличие издержек хранения товаров у фирм может служить источником завышения цен (относительно равновесия по Нэшу в соответствующей модели). Так, при 100 симуляциях 100'000 взаимодействий в

¹Источник: <https://akit.ru/analytics/analyt-data>

олигополии усредненный монопольный индекс цен составляет 6,44%, а по запасам – 9,93%. При этом индекс по прибыли отрицателен и составляет –57,19%. Такой противоречивый эффект может объясняться сложностью поиска баланса в “exploration” и “explotation” в случае многомерной задачи, а также нефиксированностью стратегий фирм даже после большого числа взаимодействий, что создает ненулевую дисперсию цен и инвестиций в запасы. При этом из теоретических соображений добавление платформы, максимизирующей собственную прибыль, может еще больше замедлить схождение алгоритмов фирм к оптимальным стратегиям.

В конечном итоге, данная работа показывает важность учета источников издержек фирм, использующих DP алгоритмы, а также то, что дизайн и непосредственные цели платформы могут содействовать установлению неконкурентных равновесий.

Источники и литература

- 1) **Deng, S., M. Schiffer and M. Bichler.** 2024. “Algorithmic Collusion in Dynamic Pricing with Deep Reinforcement Learning.” *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.02437>.
- 2) **Johnson, J. P., A. Rhodes and M. Wildenbeest.** 2023. “Platform Design When Sellers Use Pricing Algorithms.” *Econometrica*, 91(5): 1841–1879.
- 3) **Zhou, Q., Y. Yang and S. Fu.** 2022. “Deep reinforcement learning approach for solving joint pricing and inventory problem with reference price effects.” *Expert Systems with Applications*, 195: 116564.