

Известия Алтайского государственного университета. 2026. № 4 (150). С. 63–68.
Izvestiya of Altai State University. 2026. No 4 (150). P. 63–68.

Научная статья
УДК 519.677

[https://doi.org/10.14258/izvasu\(2026\)4-07](https://doi.org/10.14258/izvasu(2026)4-07)

Моделирование поведенческих компонент в коллективном принятии решений на конкурентном рынке

Геннадий Иванович Алгазин¹, Дарья Геннадьевна Алгазина²

¹Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия, algaz46@yandex.ru

²Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия, darya.algazina@mail.ru

Original article

Modeling of Behavioral Components in Collective Decision-Making in a Competitive Market

Gennady I. Algazin¹, Darya G. Algazina²

¹Altai State University, Barnaul, Russia, algaz46@yandex.ru

²Altai State University, Barnaul, Russia, darya.algazina@mail.ru

Аннотация. Рассматривается проблема ограниченно рационального поведения на рынке олигополии при отсутствии общего знания с применением рефлексивных повторяющихся игр и моделей динамики коллективного поведения. Особенностью и новизной модели в настоящей статье является то, что в ней индикаторное поведение агентов дополнено поведенческими компонентами, такими как «уровень притязаний» и «конкурентоспособность». Аксиома индикаторного поведения позволяет реализовать принцип «оптимизационного» поведения агента. Концепция уровня притязаний агента позволяет реализовать принцип приемлемого / удовлетворительного решения в условиях ограниченной рациональности. Условие конкурентоспособности агента позволяет исключить из рассмотрения неконкурентоспособных агентов. В рамках такой модели затруднено аналитическое исследование динамики коллективного поведения. Поэтому в качестве основного метода исследования условий существования и особенностей нахождения решений используется метод численного моделирования. Для получения частных аналитических выводов и проведения численных экспериментов рассматривается модель олигополии с рефлексивными по Курно агентами. Показаны и обсуждаются результаты экспериментов.

Ключевые слова: модель коллективного поведения, ограниченная рациональность, неполная информированность, поведенческие компоненты, уровни притязаний, конкурентоспособность, вычислительные эксперименты

Abstract. The paper studies the problem of bounded rational behavior in the oligopoly market under the absence of common knowledge using reflexive repetitive games and models of collective behavior dynamics. The agent's indicator behavior, complemented by behavioral components such as “aspiration level” and “competitiveness”, is the peculiarity and novelty of the considered model. The axiom of indicator behavior allows the implementation of the “optimizing” agent behavior principle. The concept of the agent's aspiration level helps to implement the principle of an acceptable/satisfactory solution in bounded rationality conditions. The agent's competitiveness condition allows exclusion of uncompetitive agents from consideration. An analytical study of collective behavior dynamics becomes difficult when using such a model framework. Therefore, the method of numerical modeling is used as the main method of studying the conditions of existence and reaching solutions. The oligopoly model with Cournot-reflexive agents is considered to obtain partial analytical conclusions and conduct numerical experiments. Experimental results are shown and discussed.

Keywords: collective behavior model, bounded rationality, incomplete information, behavioral components, aspiration level, competitiveness, computational experiments

Для цитирования: Алгазин Г.И., Алгазина Д.Г. Моделирование поведенческих компонент в коллективном принятии решений на конкурентном рынке // Известия Алтайского государственного университета. 2026. № 4 (150). С. 63–68. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2026\)4-07](https://doi.org/10.14258/izvasu(2026)4-07).

For citation: Algazin G.I., Algazina D.G. Modeling of Behavioral Components in Collective Decision-Making in a Competitive Market. *Izvestiya of Altai State University*. 2026. No 4 (150). P. 63–68. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2026\)4-07](https://doi.org/10.14258/izvasu(2026)4-07).

Введение

Поведение рациональных агентов на конкурентном рынке олигополии представляет собой одну из важнейших проблем принятия решений в условиях неполной информации и ограниченной рациональности. Адекватным аппаратом исследования этой проблемы являются теория рефлексивных игр и теория коллективного поведения [1, 2]. Теория коллективного поведения дополняет теорию игр исследованием вычислительных процедур принятия агентами решений при достаточно слабых предположениях относительно их информированности.

Модель индикаторного поведения является наиболее известной моделью теории коллективного поведения. Она может служить базисом для создания моделей, позволяющих более полно описывать и прогнозировать групповое поведение с учетом дополнения его новыми компонентами, которые во многих случаях являются существенными при принятии решений [3].

В настоящей статье в качестве компонент рассматриваются: 1) «уровень притязаний» агента, который позволяет реализовать принцип приемлемого / удовлетворительного решения в условиях ограниченной рациональности [4–6]; 2) «конкурентоспособность» агента, под которой понимается, что в формальной модели не допускаются отрицательные объемы выпуска. С экономической точки зрения агент с отрицательным объемом выпуска не может быть конкурентоспособным [7, 8]. Модель индикаторного поведения дает возможность реализовать в про-

цедурах принятия решений принцип рационального экономического поведения. Ее дополнение указанными поведенческими компонентами деятельности агентов определяет особенность и новизну представленной в статье модели.

Цель работы — построение модели динамики группового поведения, которая учитывает важные поведенческие аспекты при принятии субъектами решений в условиях конкуренции и ограниченной рациональности, проведение вычислительных экспериментов для анализа модели и полученных результатов.

Исследования в этом направлении являются актуальными ввиду значимости понимания механизмов коллективного поведения на современных конкурентных рынках и сближения с ними теоретических моделей и вычислительных процедур принятия решений.

Описание модели

В качестве базиса для построения модели динамики принятия решений будем рассматривать индикаторную модель коллективного поведения n взаимосвязанных агентов в дискретном времени [2]. Согласно гипотезе индикаторного поведения каждый i -й агент, наблюдая в $(t + 1)$ -й момент (такт, период) времени предыдущие действия других агентов $q_{-i}^t = (q_1^t, \dots, q_{i-1}^t, q_{i+1}^t, \dots, q_n^t)$, выбирает действие q_i^{t+1} ,

делая «шаг» $\gamma_i^{t+1} \in [0; 1]$ от своего предыдущего действия q_i^t к текущему положению цели $x_i^t(q_{-i}^t)$ по формуле

$$q_i^{t+1} = q_i^t + \gamma_i^{t+1} (x_i^t(q_{-i}^t) - q_i^t), \quad i \in N = \{1, \dots, n\}. \quad (1)$$

Агенты, принимающие решения в условиях неполной информированности, вынуждены рефлексировать, т.е. предсказывать действия конкурентов и выбирать свои действия с учетом этого прогноза. Результатом такого прогноза является текущее положение цели. Текущее положение цели i -го агента $x_i^t(q_{-i}^t) = \arg \max_{x \in R^1} \Pi_i(q_{-i}^t, x)$ — это такое его действие,

которое максимизировало бы его целевую функцию Π_i при предположении, что в $(t + 1)$ -й момент времени все остальные агенты выбрали бы те же действия, что и в предыдущий [9].

В работе представлена следующая модель динамики принятия решений:

$$q_i^{t+1} = \begin{cases} q_i^t + \gamma_i^{t+1} (x_i^t(q_{-i}^t) - q_i^t), & \text{если } \Pi_i(q_{-i}^t, q_i^t) < U_i \text{ и } x_i^t(q_{-i}^t) > 0; \\ q_i^t, & \text{если } \Pi_i(q_{-i}^t, q_i^t) \geq U_i; \\ 0, & \text{если } x_i^t(q_{-i}^t) \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотрим особенности модели (2). Если положительным исходом динамики (1) считается дости-

жение равновесия, то в модели (2) положительным исходом для каждого агента является достижение сво-

его уровня притязаний $U_i \geq 0$. Будем полагать, что процесс (2) сходится к решению, если каждый из агентов достигает своего уровня притязаний. Агент, действующий в рамках модели (2), не будет изменять предыдущее действие, если достиг своего уровня притязаний. Так он пытается закрепиться на достигнутом уровне. Модель (2) относится к классу моделей ограниченной рациональности, в которых реализован принцип приемлемого / удовлетворительного решения.

Также в отличие от (1) итерационные преобразования (2) исключают случаи $q_i^t < 0$, т.е. неконкурентоспособности агентов в отдельные моменты времени. Естественно полагать, что $q_i^0 \geq 0$.

Для модели (2), как для модели коллективного поведения, значительный интерес представляют вопросы выявления условий существования решений, их устойчивости и сходимости динамик действий аген-

тов. Если для модели (1) эти вопросы достаточно хорошо изучены, то для моделей, подобных модели (2), такие исследования неизвестны [8].

Решение этих вопросов для модели (2) в общем случае зависит от значений параметров γ_i^{t+1} , которые выбирают те или иные агенты, от числа агентов на рынке, от начальных приближений q_i^0 и от уровней притязаний агентов U_i .

Модель (2) вряд ли допускает получение в ее рамках общих аналитических выводов. Поэтому в качестве основного метода исследования используется метод численного моделирования.

Для проведения численных экспериментов рассмотрим модель олигополии Курно с линейными функциями затрат агентов и линейной функцией спроса. В этой модели целевая функция i -го агента задана выражением:

$$\Pi_i(q_{-i}^t, q_i^t) = \left(a - b \sum_{j \in N \setminus \{i\}} q_j^t - b q_i^t \right) q_i^t - (c_i q_i^t + d_i) \rightarrow \max_{q_i^t}. \quad (3)$$

Здесь: q_i^t — объем выпуска i -го агента, спрос задан функцией $p(q_{-i}^t, q_i^t) = a - b \sum_{j \in N \setminus \{i\}} q_j^t - b q_i^t$ (a, b — параметры спроса), полные издержки i -го агента имеют вид $c_i q_i^t + d_i$ (c_i, d_i — его предельные и постоянные издержки) [7, 10].

Для этой модели текущее положение цели агента (т.е. его лучший ответ по Курно на предполагаемый выпуск конкурентов) составит

$$x_i^t(q_{-i}^t) = \frac{1}{2} \left(\frac{a - c_i}{b} - \sum_{j \in N \setminus \{i\}} q_j^t \right) [7].$$

При полной информированности агентов решение $q^* = (q_1^*, \dots, q_i^*, \dots, q_n^*)$ игры (3), понимаемое как статичное равновесие Нэша игры в нормальной форме, если каждый из агентов конкурентоспособен в равновесном положении, существует единственно

$$\text{и } q_i^* = \frac{1}{(n+1)b} \left(a + \sum_{j \in N} c_j - (n+1)c_i \right) [7].$$

Описание и результаты экспериментов

Если уровни притязаний каждого из агентов выше его прибыли в равновесии, то процесс (2) сойдется

не может. Вопрос о сходимости (2) остается открытым, если есть агенты с уровнем притязаний ниже и агенты с уровнем притязаний выше их равновесных уровней прибыли.

Для численных экспериментов возьмем дуополию, поскольку для этого случая имеется удобная база для сравнения динамики по модели (2) с хорошо изученной динамикой (1). Пусть $c = (20, 30)$, $a = 100$, $b = 0,1$. Для такого рынка статичное равновесие Нэша существует единственно и $q^* = (300, 200)$. Обозначим

$\Pi_i^* = \Pi_i(q_1^*, q_2^*)$ и $\Pi_i^t = \Pi_i(q_1^t, q_2^t)$ ($i = 1, 2; t = 0, 1, \dots$). По (3) прибыль агентов в статичном равновесии составит $\Pi_1^* = 9000 - d_1$ и $\Pi_2^* = 4000 - d_2$. В расчетах положим, что $d_1 = d_2 = 0$, $U_1 = 7000$, $U_2 = 5000$. Уровень притязаний первого агента U_1 меньше его равновесного уровня прибыли Π_1^* , а уровень притязаний второго агента U_2 больше его равновесного уровня прибыли Π_2^* . Результаты расчетов динамик представлены в двух таблицах. В таблице 1 представлены расчеты по модели (2). В таблице 2 представлены расчеты по модели (1).

Таблица 1

Варианты расчетов динамик по модели дуополии Курно с поведенческими компонентами

Номер итерации	Параметры шагов		Выпуск агентов		Положение цели		Прибыль	
t	γ_1	γ_2	q_1	q_2	x_1	x_2	Π_1	Π_2
Вариант 1								
0			100,0	100,0	350,0	300,0	6000,0	5000,0
1	1,0		350,0	100,0	350,0	175,0	12250,0	2500,0
2		1,0	350,0	175,0	312,5	175,0	9625,0	3062,5

Окончание таблицы 1

Номер итерации	Параметры шагов		Выпуск агентов		Положение цели		Прибыль	
3		1,0	350,0	175,0	312,5	175,0	9625,0	3062,5
Вариант 2								
0			100,0	100,0	350,0	300,0	6000,0	5000,0
1	0,5		225,0	100,0	350,0	237,5	10687,5	3750,0
2		1,0	225,0	237,5	281,3	237,5	7593,8	5640,6
Вариант 3								
0			800,0	300,0	250,0	-50,0	-24000,0	-12000,0
1	1,0		250,0	0,0	400,0	225,0	13750,0	0,0
2		1,0	250,0	225,0	287,5	225,0	8125,0	5062,5

В таблице 1 приведены три варианта процесса. Им соответствуют три фрагмента таблицы. В первых двух фрагментах оба агента имеют одинаковые начальные данные $q^0 = (100, 100)$, но в них на первой итерации первый агент выбирает разные шаги. В первом фрагменте на первой итерации он выбирает полный шаг $\gamma_1^1 = 1$, который является его лучшим ответом на предполагаемый им выбор второго агента на этой итерации, а во втором фрагменте он выбирает неполный шаг $\gamma_1^1 = 0,5$. Исходная прибыль второго агента равна его уровню притязаний $\Pi_2^0 = U_2 = 5000$, поэтому на первой итерации он не меняет свой выпуск $q_2^1 = q_2^0 = 100$. В первом фрагменте процесс не сходится, так как на второй итерации прибыль первого агента выше уровня притязаний и он не будет менять свой выпуск. Второй агент не достиг уровня притязаний, выбор им шага меньше единицы ($\gamma_2^3 < 1$) может только уменьшить достигнутую им прибыль и увеличить прибыль первого агента, выбор $\gamma_2^3 = 1$ дает $q^3 = q^2$, что указывает на заикливание процесса в первом фрагменте и отсутствие его сходимости к решению.

Процесс во втором фрагменте сходится уже на второй итерации и $\Pi_1^2 = 7593,75 > U_1 = 7000$, $\Pi_2^2 = 5640 > U_2 = 4000$.

Ситуации в первых двух фрагментах таблицы 1 показывают, что выбор длины шага агентами может влиять на сходимость процесса (2).

В третьем фрагменте представлен процесс (2) с другими начальными условиями. Здесь $q^0 = (800, 300)$. Этот процесс сходится, хотя в начальной стадии процесса агенты несут убытки. При этом достигнутая агентами прибыль отлична от той, что получена ими во втором фрагменте. Ситуации во втором и третьем фрагментах показывают, что на сходимость процесса и на достигнутый уровень притязаний могут оказывать влияние не только выбор агентами шага, но и начальные условия.

Для сравнения в таблице 2 приведен процесс (1) с теми же параметрами рынка a, b и параметрами агентов c_i, d_i и теми же начальными условиями, как и во фрагментах 1 и 2 таблицы 1. Агенты на каждой итерации процесса выбирают полные шаги $\gamma_i^t = \gamma_2^t = 1$ ($t = 0, 1, \dots$), т.е. лучшие ответы на действия конкурента. Известно, что для линейной модели дуополии процесс (1) будет сходиться $\forall \gamma_i^{t+1} \in (0; 1]$ к равновесному выпуску при любых начальных условиях [7]. Видно, что процесс сходится к $q^* = (300, 200)$. Если агенты будут выбирать шаги меньше единицы, то процесс будет сходиться медленнее.

Таблица 2

Динамика индикаторного поведения в классической модели дуополии Курно

Номер итерации	Параметры шагов		Выпуск агентов		Положение цели		Прибыль	
t	Y_1	Y_2	q_1	q_2	x_1	x_2	Π_1	Π_2
0			100,00	100,00	350,00	300,00	6000,00	5000,00
1	1,0	1,0	350,00	300,00	250,00	175,00	5250,00	1500,00
2	1,0	1,0	250,00	175,00	312,50	225,00	9375,00	4812,50
3	1,0	1,0	312,50	225,00	287,50	193,75	8203,13	3656,25
4	1,0	1,0	287,50	193,75	303,13	206,25	9164,06	4238,28
5	1,0	1,0	303,13	206,25	296,88	198,44	8809,57	3931,64
6	1,0	1,0	296,88	198,44	300,78	201,56	9045,41	4061,77
7	1,0	1,0	300,78	201,56	299,22	199,61	8952,94	3984,01
8	1,0	1,0	299,22	199,61	300,20	200,39	9011,63	4015,58
9	1,0	1,0	300,20	200,39	299,80	199,90	8988,27	3996,07
10	1,0	1,0	299,80	199,90	300,05	200,10	9002,92	4003,90

Окончание таблицы 2

Номер итерации	Параметры шагов		Выпуск агентов		Положение цели		Прибыль	
11	1,0	1,0	300,05	200,10	299,95	199,98	8997,07	3999,02
12	1,0	1,0	299,95	199,98	300,01	200,02	9000,73	4000,98
13	1,0	1,0	300,01	200,02	299,99	199,99	8999,27	3999,76
14	1,0	1,0	299,99	199,99	300,00	200,01	9000,18	4000,24
15	1,0	1,0	300,00	200,01	300,00	200,00	8999,82	3999,94

Заключение

На сегодняшний день не существует универсального аппарата аналитических решений для широкого круга задач коллективного поведения агентов на конкурентных рынках. Поэтому особенно важными представляются экспериментальные исследования. Рассматривается модель, основанная на индикаторном поведении агентов, дополненная поведенческими компонентами, такими как «уровень притязаний» и «конкурентоспособность». На сходимость к поло-

жению равновесия такой модели оказывает влияние не только число агентов на рынке. Вычислительные эксперименты показали, что введение в модель дополнительных поведенческих компонент ставит ее сходимость в зависимость от величин шагов движения агентов к текущему положению цели и начальных условий. В ближайшей перспективе представляет интерес исследование вычислительных процедур с другими поведенческими компонентами деятельности в коллективном принятии решений.

Библиографический список

1. Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. *Reflexion and Control: Mathematical Models*. Leiden: CRC Press, 2014. 298 p.
2. Опойцев В.И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения. М.: Ленанд, 2023. 248 с.
3. Новиков Д.А. Модели динамики психических и поведенческих компонент деятельности в коллективном принятии решений // *Управление большими системами*. 2020. Вып. 85. С. 206–237.
4. Aumann R. Rationality and Bounded Rationality // *Games and Economic Behavior*. 1997. Vol. 21. No 1-2. P. 2–14. <https://doi.org/10.1006/game.1997.0585>
5. Новиков Д.А. Ограниченная рациональность // *Математическая теория игр и ее приложения*. 2022. Т. 14. Вып. 1. С. 49–84. <https://doi.org/10.25728/ubs.2020.85.9>
6. Алгазин Г.И. Централизация и децентрализация в базовых игровых моделях организационных систем // *Управление большими системами*. 2012. Вып. 36. С. 144–172.
7. Algazin G.I., Algazina Yu.G. Reflexive Dynamics in the Cournot Oligopoly under Uncertainty // *Automation and Remote Control*. 2020. Vol. 81. No 2. P. 345–359. <https://doi.org/10.1134/S0005117920020083>
8. Geraskin M.I. A Survey of the Latest Advances in Oligopoly Games // *Automation and Remote Control*. 2023. Vol. 84. No 6. P. 565–578. <https://doi.org/10.1134/S000511792306005X>
9. Малишевский А.В. Качественные модели в теории сложных систем. М.: Наука, 1998. 528 с.
10. Cournot A. *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*. London: Hafner, 1960. (Original 1838). 235 p.

References

1. Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. *Reflexion and Control: Mathematical Models*. Leiden: CRC Press, 2014. 298 p.
2. Opoytsev V.I. *Equilibrium and Stability in Collective Behavior Models*. Moscow: Lenand, 2023. 248 p. (In Russ.).
3. Novikov D.A. Dynamics Models of Mental and Behavioral Components of Activity in Collective Decision-Making. *UBS*. 2020. Vol. 85. P. 206–237. (In Russ.).
4. Aumann R. Rationality and Bounded Rationality. *Games and Economic Behavior*. 1997. Vol. 21. P. 2–14. <https://doi.org/10.1006/game.1997.0585>
5. Novikov D.A. Bounded Rationality and Control. *Matematicheskaya Teoriya Igr i Ee Prilozheniya*. 2022. Vol. 14 (1). P. 49–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.25728/ubs.2020.85.9>
6. Algazin G.I. Centralization and Decentralization in Basic Game-Theoretic Models of Organizational Systems. *UBS*. 2012. Vol. 36. P. 144–172. (In Russ.).
7. Algazin G.I., Algazina Yu.G. Reflexive Dynamics in the Cournot Oligopoly under Uncertainty. *Automation and Remote Control*. 2020. Vol. 81. No 2. P. 345–359. <https://doi.org/10.1134/S0005117920020083>
8. Geraskin M.I. A Survey of the Latest Advances in Oligopoly Games. *Automation and Remote Control*. 2023. Vol. 84. No 6. P. 565–578. <https://doi.org/10.1134/S000511792306005X>
9. Malishevski A.V. *Qualitative Models in the Theory of Complex Systems*. Moscow: Nauka. Fizmatlit, 1998. 528 p. (In Russ.).
10. Cournot A. *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*. London: Hafner, 1960. (Original 1838). 235 p.

Информация об авторах

Г.И. Алгазин, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теоретической и прикладной математики, Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия;

Д.Г. Алгазина, кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых технологий и бизнес-аналитики, Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия.

Information about the authors

G.I. Algazin, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor, Professor of the Department of Theoretical Cybernetics and Applied Mathematics, Altai State University, Barnaul, Russia;

D.G. Algazina, Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Digital Technologies and Business Analytics, Altai State University, Barnaul, Russia.