

МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ПСИХИЧЕСКИХ И ПОВЕДЕНЧЕСКИХ КОМПОНЕНТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КОЛЛЕКТИВНОМ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

Новиков Д. А.¹

(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Рассматривается модель коллективного принятия решений, в которой в явном виде присутствуют взаимосвязанные параметры, отражающие и психические, и поведенческие компоненты деятельности агентов: исследуются взаимовлияющие процессы динамики их состояний и действий, а также свойства соответствующих равновесий. Частными случаями являются известные модели: активной экспертизы, информационного управления, порогового и конформного поведения. Предложенный подход позволяет моделировать такие известные в социальной психологии эффекты, как: когнитивный диссонанс, хиндсайт и др.

Ключевые слова: коллективное принятие решений, состояние, действии, социальное влияние, конформизм, когнитивный диссонанс, хиндсайт.

1. Введение

В теории принятия решений, в теории управления организационными системами и в теории коллективного поведения традиционно строятся и изучаются модели динамики либо только поведенческих компонент деятельности (внешне проявляемых, наблюдаемых) [11] субъектов (агентов) – их действий и/или результатов деятельности [10], либо только психических компонент деятельности – их «состояний» (мнений, аттитюдов и т.п.) [3, 5] (см. также обзоры в [13, 16, 17, 22]), которые являются «внутренними» переменными и не всегда полностью наблюдаемы. Ниже рассматривается комплексная модель коллективного принятия решений и управления им, в которой в явном виде присутствуют взаимосвязанные факторы, отражающие и психические, и поведенческие компоненты деятельности.

Структура изложения материала настоящей работы следующая. Во втором разделе рассматривается общая структура

¹ Дмитрий Александрович Новиков, чл.-корр. РАН (novikov@ipr.ru).

процесса принятия решений, перечисляются охватываемые ею известные частные модели. Третий раздел посвящен описанию общей модели принятия коллективных решений, отражающей ряд психологических эффектов (когнитивного диссонанса, хиндсайта и др.) Частными случаями этой модели являются кратко рассматриваемые в четвертом разделе известные модели: активной экспертизы, информационного управления, конформного поведения и др. В пятом разделе приведены оригинальные результаты исследования взаимовлияющих процессов динамики состояний агентов и их действий, а также свойств соответствующих равновесий. Там же можно найти ряд иллюстративных примеров.

2. Структура процесса принятия решений

Рассмотрим множество $N = \{1, 2, \dots, n\}$ взаимодействующих субъектов (далее будем называть их *агентами*). Номер агента будем обозначать нижним индексом, а номер периода времени – верхним. Пусть существует один управляющий орган – *центр*, имеющий возможность оказывать целенаправленные воздействия на деятельность агентов.

Введем параметр $r_i \in R_i$, называемый «*состоянием*» (внутренним) i -го агента и отражающий все его существенные индивидуальные характеристики, в том числе параметры *структуры личности* [11]. Содержательно состояние агента в прикладных задачах может интерпретироваться как: его *мнение*, *убеждение* или *отношение* (например, *оценка* некоторого объекта или субъекта), или эффективность его деятельности, или скорость научения, или наиболее желательный для него результат деятельности и т.п.

Пусть агент i может выбирать *действия* из множества A_i допустимых действий. Его действие будем обозначать через y_i ($y_i \in A_i$). В результате выбора агентами действий реализуются *результаты* их деятельности, которые будем обозначать $z_i \in A_{0i}$, где A_{0i} – множество допустимых результатов деятельности i -го агента. Возможное несовпадение действия агента и результата его деятельности может быть обусловлено влиянием *внешней*

среды (ее состояние обозначим через $\theta \in \Omega$) или действиями других агентов – см. рис. 1.

Связь между действием агента и результатом его деятельности может иметь сложную природу и описываться распределениями вероятности, нечеткими функциями и др. [10]. Будем для простоты считать, что результат z_i деятельности i -го агента является известной детерминированной функцией $w_i(y_i, y_{-i}, \theta)$, действительное значение которой зависит от его действия, вектора $y_{-i} = (y_1, \dots, y_{i-1}, y_{i+1}, \dots, y_n)$ действий всех остальных агентов (так называемой *обстановки игры* для i -го агента) и состояния внешней среды θ . Функция $w_i(\cdot)$ называется *технологической функцией* [1].

Будем считать, что каждый агент всегда знает свое состояние, а его действие полностью наблюдаемо для него и всех остальных агентов.

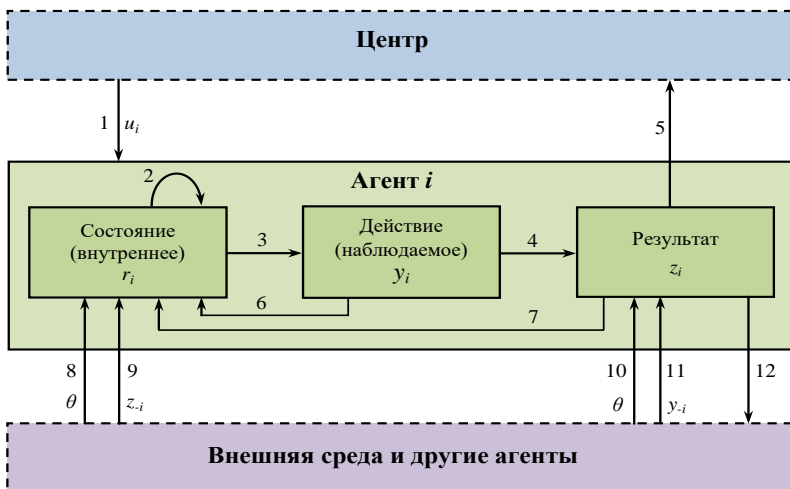


Рис. 1. Структура процесса принятия решений

Пусть агент обладает *предпочтениями* на множестве A_{0i} результатов, т.е. имеет возможность сравнивать различные результаты своей деятельности. Предпочтения агента будем описывать

его функцией полезности (целевой функцией, функцией выигрыша) $f_i: A_{0i} \times R_i \rightarrow \mathfrak{R}^1$, т.е. при фиксированном состоянии агента из двух результатов деятельности для него предпочтительнее тот, на котором функция полезности принимает большее значение. Рациональность поведения агента выражается в его стремлении к максимизации полезности.

При выборе действия агент руководствуется своими предпочтениями и тем, как выбираемое действие влияет на результат деятельности. При известном своем состоянии, состоянии внешней среды и действиях других агентов, i -й агент выберет действие y_i^* , максимизирующее его полезность:

$$(1) \quad y_i^*(y_{-i}^*, r_i, \theta) = \arg \max_{y_i \in A_i} f_i(w_i(y_i, y_{-i}^*, \theta), r_i), \quad i \in N.$$

Выражение (1) представляет собой определение *равновесия Нэша* игры агентов в нормальной форме, в которой они принимают решения о своих действиях однократно, одновременно и независимо в ситуации *общего знания* о технологических функциях, функциях полезности, состояниях агентов и внешней среды [10].

Приведенная на рис. 1 структура является очень общей и охватывает в качестве частных случаев, в том числе, следующие процессы и явления (перечислим последовательности соответствующих номеров стрелок на рис. 1; в случае «одновременного» взаимодействия нескольких факторов будем условно перечислять их через запятую):

- индивидуальное ($n = 1$) *принятие решений*: 3 [10];
- *авторефлексия*: 2 – 6, 7, 8 – 2 [10];
- *принятие решений в условиях неопределенности*: 8 – 3 – 4, 10 [10];
- *теоретико-игровое взаимодействие нескольких агентов, их коллективное поведение*: 4 – 11, 12 [10];
- *модели комплексной деятельности*: 1, 8 – 3 – 4, 10 – 5, 12 [1];
- *управление* ($u_i \in U_i$) одним агентом: 1 – 3 – 4 – 5. Управление может заключаться в целенаправленном (приводящем к требуемому действию агента или результату его деятельности) воздействии на: множество допустимых действий, технологиче-

скую функцию, функцию полезности, состояние агента или на комбинацию вышеперечисленных параметров. В зависимости от предмета управления, при фиксированном составе и структуре системы выделяют различные его виды: институциональное, мотивационное и информационное управление [10];

- управление несколькими агентами: 1 – 3 – 4, 11 – 5 [10].
- социальное влияние 1, 8, 9 – 2, 3 [5, 11], в том числе с учетом эффектов конформного поведения [2, 3];
- научение в процессе деятельности: 2 – 3 – 4, 10 – 7 [1, 9];
- обучение: 1, 2 – 3 – 4, 10 – 5, 7 [1, 9].

Конкретизируем модель принятия решений.

3. Модель коллективного принятия решений

3.1. ОБЩАЯ МОДЕЛЬ

Введем ряд предположений (их содержательные интерпретации приведены ниже).

A.1. $A_i = A_{0i} = R_i = U_i = [0; 1], i \in N$.

A.2. $w_i(y_i, y_{-i}, \theta) = w(y_i, y_{-i}), i \in N$.

A.3. При фиксированном состоянии агента r_i его функция полезности $f_i: [0; 1]^2 \rightarrow \mathfrak{R}$ *однопиковая с точкой пика r_i , $i \in N$* [10].

A.4. $w(\cdot)$ – непрерывная, строго монотонно возрастающая по всем переменным функция, удовлетворяющая *условию единогласия*:

$$\forall a \in [0; 1] \quad w(a, \dots, a) = a.$$

Предположение A.1 является «техническим», и, как будет видно из дальнейшего изложения, многие результаты справедливы для более общего случая – когда допустимые множества являются выпуклыми компактами.

Предположение A.2 уже более существенно, так как в соответствии с ним, во-первых, результат деятельности (*коллективное решение*) $z = w(y_i, y_{-i})$ един для всех агентов, а, во-вторых, неопределенность относительно состояния внешней среды отсутствует. Состояние агента определяет его *предпочтения* – отношение к результатам деятельности (коллективной). Рассмотрение вектора индивидуальных результатов деятельно-

сти агентов, зависящих в том числе и от действий других агентов, может проводиться по аналогии с тем, как это делается ниже, и представляется перспективным направлением будущих исследований. Так как, в соответствии с предположением А.2, неопределенность отсутствует, поэтому в дальнейшем будем опускать зависимость результата деятельности (и равновесных действий агентов) от параметра θ .

В соответствии с предположением А.3 функция полезности агента, определенная на множестве результатов деятельности, имеет единственную точку максимума, который достигается при результате, совпадающем с состоянием агента. Другими словами, состояние агента параметризует его функцию полезности – отражает цель деятельности (напомним, что *цель* – желаемый результат деятельности [11]). Также состояние агента может интерпретироваться как его *оценка, мнение* или *отношение/аттитюд* [15] к тем или иным результатам деятельности (см. терминологию психологии личности в [11]).

Предположение 4 содержательно прозрачно: если цели всех агентов совпадают, то соответствующий результат их совместной деятельности достижим.

Если выражение (1) описывает однократное принятие агентами решений о своем действии, то для рассмотрения повторяющихся ситуаций принятия решений необходимо вводить те или иные дополнительные предположения. Ниже рассматривается динамика принятия решений и считается, что выполнено следующее предположение.

А.5. Динамики действий агентов следует процедуре *индикаторного поведения* [8, 9, 10, 12]:

$$(2) \quad y_i^t = (1 - \gamma_i^t) y_i^{t-1} + \gamma_i^t y_i^*(y_{-i}^{t-1}, r_i^t), \quad t = 1, 2, \dots,$$

с заданными начальными значениями (y_i^0, r_i^0) , $i \in N$, где $\gamma_i^t \in (0; 1]$ – известные константы. Действие $y_i^*(y_{-i}^{t-1}, r_i^t)$ называют *локальным/текущим положением цели* i -го агента [12]. То есть в каждый момент времени агент делает «шаг» (пропорциональный γ_i^t) от своего предыдущего состояния к своему наилучшему ответу (1) на обстановку, сложившуюся в предыдущий момент времени.

А.6. Динамика состояний агентов следует процедуре (см. пояснения ниже):

$$(3) \quad \begin{aligned} r_i^t = & [1 - b_i B_i(r_i^{t-1}, u_i^t) - c_i C_i(r_i^{t-1}, y_i^{t-1}) - d_i D_i(r_i^{t-1}, z^{t-1}) - e_i] r_i^{t-1} + \\ & + b_i B_i(r_i^{t-1}, u_i^t) u_i^t + c_i C_i(r_i^{t-1}, y_i^{t-1}) y_i^{t-1} + d_i D_i(r_i^{t-1}, z^{t-1}) z^{t-1} + \\ & + e_i E_i(r_i^{t-1}, y_i^{t-1}), \quad t=1, 2, \dots, \quad i \in N. \end{aligned}$$

А.7. Неотрицательные константы доверия (b_i, c_i, d_i, e_i) удовлетворяют ограничениям

$$(4) \quad b_i + c_i + d_i + e_i \leq 1, \quad i \in N.$$

А.8. Функции доверия $B_i(\cdot)$, $C_i(\cdot)$, $D_i(\cdot)$ и $E_i(\cdot)$, $i \in N$, принимают значения из отрезка $[0; 1]$; $\forall a \in [0; 1] E_i(a, \dots, a) = a$, $i \in N$.

А.9. Неотрицательные константы доверия (b_i, c_i, d_i, e_i) и функции доверия $B_i(\cdot)$, $C_i(\cdot)$ и $D_i(\cdot)$, $i \in N$, удовлетворяют условию

$$(5) \quad \begin{aligned} & \forall x_1, x_2, x_3, x_4 \in [0; 1] \\ & b_i B_i(x_1, x_2) + c_i C_i(x_1, x_3) + d_i D_i(x_1, x_4) + e_i \leq 1, \quad i \in N. \end{aligned}$$

Предположения А.7 – А.9 гарантируют, что состояние динамической системы (2)–(3) не выйдет из множества допустимых значений.

«Веса»-константы (b_i, c_i, d_i, e_i) могут рассматриваться как отражающие отношение (доверие) i -го агента к соответствующему источнику информации, а функции $B_i(\cdot)$, $C_i(\cdot)$, $D_i(\cdot)$ и $E_i(\cdot)$ – как «функции доверия», отражающие доверие i -го агента к *сохранению информации*. Коэффициент $[1 - b_i B_i(r_i^{t-1}, u_i^t) - c_i C_i(r_i^{t-1}, y_i^{t-1}) - d_i D_i(r_i^{t-1}, z^{t-1}) - e_i]$ при первом слагаемом в правой части выражения (3) условно отражает *силу собственных убеждений* агента.

Отметим, что при единичных значениях функций доверия выражение (3) имеет и вероятностную трактовку: с некоторой вероятностью агент не изменяет своего состояния (остается при своем мнении), с вероятностью b_i состояние становится равным управлению, с вероятностью c_i – действию и т.д.

Приведем и обсудим содержательные интерпретации пяти слагаемых в правой части выражения (3). В соответствии

с выражением (3), состояние i -го агента r_i^t в момент времени t в общем случае определяется (является «линейной комбинацией»):

I) его состоянием r_i^{t-1} (см. стрелку 2 на рис. 1) в предыдущий момент времени $(t - 1)$,

II) его действием y_i^{t-1} (см. стрелку 6 на рис. 1) в предыдущий момент времени $(t - 1)$,

III) действиями y_{-i}^{t-1} и, в общем случае, результатами деятельности z_{-i}^{t-1} остальных агентов (см. стрелки 11 и 9 на рис. 1) в предыдущий момент времени $(t - 1)$; это влияние может быть и опосредованным – «через» результат деятельности агента,

IV) результатом деятельности z^{t-1} (см. стрелку 7 на рис. 1) в предыдущий момент времени $(t - 1)$,

V) внешним воздействием (управлением) u_i^t на него в момент времени t (см. стрелку 1 на рис. 1).

Примером является взаимодействие членов группы в онлайн-социальной сети. Имея свои убеждения (состояния) они высказывают публично свои мнения/оценки (действия) относительно некоторого вопроса/явления или процесса. Коллективным решением/мнением/оценкой при этом может быть, например, среднее значение высказанных оценок/мнений. Часть агентов могут осуществлять информационное управление (не меняя, например, при этом своих состояний и действий), часть будет честно транслировать в оценках свои убеждения, часть будет пытаться приблизить коллективную оценку к своим убеждениям. Некоторые агенты при этом могут быть подвержены «дрейфу» своих убеждений в зависимости от текущих значений действий (как своих, так и остальных агентов), управления и/или коллективной оценки.

Равновесие $y_i^*(a, \dots, a) = r_i^* = a \in [0; 1]$, $i \in N$, назовем *унифицированным*, т.е. таким, в котором итоговое решение, все состояния и все действия всех агентов одинаковы.

В рамках предположений А.1 – А.9 справедливо следующее утверждение.

Утверждение 1. Если выполнены предположения А.1 – А.9, все константы доверия и значения функций доверия строго положительны, то в отсутствие управления ($b_i = 0, i \in N$) одной из неподвижных точек динамической системы (2)–(3) является унифицированное равновесие.

Справедливость утверждения 1 следует из того, что подстановка определения унифицированного равновесия в выражения (2) и (3) обращает последние в тождества (принимая во внимание, что с учетом свойств функции полезности – см. предположение А.3 – унифицированное равновесие удовлетворяет (1).

Унифицированное равновесие динамической системы (2)–(3) всегда существует, но его область притяжения может включать не все допустимые начальные значения состояний и действий. Кроме того, оно может быть не единственным равновесием. Поэтому требуется дополнительное исследование свойств равновесий динамической системы (2)–(3), в том числе для тех или иных практически и/или содержательно важных частных случаев.

3.2. РАВНОВЕСИЕ И НЕМАНИПУЛИРУЕМОСТЬ

При заданных правых частях выражений (2) и (3) все значения состояний и действий всех агентов зависят только от векторов $r^0 = (r_1^0, \dots, r_n^0)$ и $y^0 = (y_1^0, \dots, y_n^0)$ соответственно их начальных состояний и начальных действий, а также от вектора управлений $u(\cdot) = (u_1(\cdot), \dots, u_n(\cdot))$ (управление может быть *постоянным*, зависеть от времени (*программное управление*), или/и состояний агентов и их действий (*позиционное управление*) [5, 13]).

Обозначим через $(r^*(r^0, y^0, u(\cdot)), y^*(r^0, y^0, u(\cdot)))$ *равновесие* – неподвижную точку динамической системы (2)–(3). С «теоретико-игровой точки зрения» можно считать, что выигрыши агентов определяются именно равновесным состоянием, а «промежуточные» выигрыши не учитываются. Изучение условий существования и свойств этого равновесия – отдельная исследовательская задача. Имея зависимость равновесия от управ-

ления, можно решать задачи анализа и синтеза оптимального управления [10, 13].

Если рассмотреть игру агентов в нормальной форме, в которой они при заданном управлении выбирают свои начальные состояния, которые становятся для всех общим знанием, то любое равновесие $(r^0 = r^*(r^0, y^0, u(\cdot)), y^0 = y^*(r^0, y^0, u(\cdot)))$ будет равновесием Нэша этой игры.

Предположим, что начальные состояния агентов известны только им самим, и каждый из них сообщает центру информацию $(s_i \in R_i, v_i \in A_i)$ соответственно о своем начальном состоянии и начальном действии. *Неманипулируемой* называется процедура принятия решений, при которой каждому агенту выгодно сообщать достоверную информацию [4, 10]. Запишем условие того, что сообщение достоверной информации является *доминантной стратегией* для каждого агента:

$$(6) \quad \forall r^0 \in R_1 \times \dots \times R_n, \forall y^0 \in A_1 \times \dots \times A_n, \forall i \in N, \forall s_i \in R_i, \forall v_i \in A_i, \\ f_i(w(y_i^*(r_i^0, r_{-i}^0, y_i^0, y_{-i}^0, u(\cdot)), y_{-i}^*(r_i^0, r_{-i}^0, y_i^0, y_{-i}^0, u(\cdot)), \\ r_i^*(r_i^0, r_{-i}^0, y_i^0, y_{-i}^0, u(\cdot))) \geq f_i(w(y_i^*(s_i, r_{-i}^0, v_i, y_{-i}^0, u(\cdot)), \\ y_{-i}^*(s_i, r_{-i}^0, v_i, y_{-i}^0, u(\cdot)), r_i^*(s_i, r_{-i}^0, v_i, y_{-i}^0, u(\cdot))).$$

Поиск управлений, обеспечивающих неманипулируемость (в смысле выражения (6)) процедуры принятия решений, является перспективной задачей.

3.3. СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ

Можно условно рассматривать агентов различных видов, в зависимости от их «интеллектуальности» – способности к *стратегическому поведению* (учету влияния выбираемых действий на будущее свое поведение, поведение других агентов, выигрыши/полезность и т.д.).

Во-первых, отметим, что процедура (3) динамики состояний агентов подразумевает *реактивность* их поведения в смысле «нецеленаправленности» изменений этой переменной. Действительно, в настоящей работе считается, что агенты не выбирают целенаправленно свои состояния, а последние изменяются известным образом в зависимости от ряда факторов (см. I–V).

Рассмотрение моделей, в которых агент может непосредственно¹ «управлять своим внутренним состоянием», представляется перспективным направлением будущих исследований².

Во-вторых, существенно, что поведение каждого агента по отношению к его собственному действию предполагается *активным*, т.е. агент самостоятельно и целенаправленно (стремясь максимизировать некоторую целевую функцию, функцию полезности и т.п.) выбирает свои действия. В зависимости от того, что агент знает на момент принятия решений, какие факторы и взаимосвязи между ними он принимает во внимание, возможны множество вариантов. Перечислим некоторые из них в порядке возрастания «интеллектуальности/стратегичности» (названия видов агентов условны; каждый предшествующий вариант является частным случаем последующих).

Первый случай – «*наивный агент*», который не изменяет со временем своего состояния и всегда сообщает достоверную информацию.

Второй случай – «*локально-оптимальный агент*», который ведет себя в соответствии с процедурой (2), приближая на каждом шаге свое действие к локальному (соответствующему текущему периоду) положению цели (рассматривает динамический процесс как *повторяющуюся игру*, в каждом периоде стремясь максимизировать свой текущий локальный выигрыш, не учитывая будущих периодов).

Третий случай – «*дальновидный агент*», который при принятии в повторяющейся игре решений о выбираемом действии учитывает влияние этих решений на несколько будущих периодов (их число называется *горизонтом дальновидности*; горизонт дальновидности может быть и бесконечным), включая потенциальное влияние своего действия на свое состояние и состояния

¹ Опосредованное влияние действия на состояние учитывается ниже, например, в рамках модели когнитивного диссонанса.

² Также перспективным видится рассмотрение моделей с различающимися характерными временами изменения состояний и действий агентов. Вплоть до разделения «быстрого времени» (в котором изменяются действия при «фиксированных» состояниях) и «медленного времени», характерного для динамики состояний как реакции на новые «равновесные» действия и результаты.

других агентов (это влияние в соответствии с процедурой (3) осуществляется опосредованно – через результат коллективной деятельности).

Четвертый случай – *«рефлексивный агент»*, т.е. дальновидный агент, который моделирует информированность и поведение других агентов в рамках своих представлений об их информированности и рангах стратегической рефлексии [10].

Пятый случай – *«стратегический агент»*, который ведет себя полностью рационально (является максимально дальновидным и рефлексивным) и сообщает информацию, приводящую к принятию наиболее выгодных для него решений (частным случаем является кратко описанная ниже модель активной экспертизы, в которой состояния агентов неизменны во времени), рассматривая соответствующий динамический процесс принятия решений как *многошаговую игру*.

Ниже рассматриваются в основном только локально-оптимальные «психологические агенты» с реактивной динамикой состояний, которые ведут себя в соответствии с выражениями (2) и (3) – с одной стороны, они рациональны (см. (2) и первое слагаемое в правой части (3)), но и подвержены, например, когнитивному диссонансу из-за того, что их состояния отличаются от действий или от принимаемого коллективного решения – см. модели ниже.

Общая схема исследования моделей принятия решений (2)–(3) такова:

- нахождение условий существования и свойств равновесия, в том числе его зависимости от параметров доверия и функций доверия;
- решение задач анализа и синтеза управлений, исследование эффективности последних с точки зрения заданных критериев;
- исследование манипулируемости/неманипулируемости.

4. Известные частные случаи

На сегодняшний день известен ряд хорошо исследованных моделей, являющихся частным случаем модели (2)–(3). Перечислим некоторые из них.

4.1. АКТИВНАЯ ЭКСПЕРТИЗА [4, 10]

В этой модели состояния агентов не изменяются: $b_i = c_i = d_i = e_i = 0$, $i \in N$; равновесие может быть найдено в явном виде, а соответствующая процедура неманипулируема. Приведем основные известные результаты.

Утверждение 2 [4].

1) если в равновесии коллективное решение z^* оказывается больше, чем состояние некоторых агентов ($z^* > r_i$), то эти агенты в равновесии выберут минимально возможные действия ($y_i^* = 0$);

2) если в равновесии коллективное решение z^* оказывается меньше, чем состояние некоторых агентов ($z^* < r_j$), то эти агенты в равновесии выберут максимально возможные действия ($y_j^* = 1$);

3) если в равновесии некоторые агенты выбирают действие, не принадлежащее границе множества допустимых действий ($y_k^* \in (0; 1)$), то это значит, что принимаемое коллективное решение их устраивает ($z^* = r_k$). Такие агенты называются *диктаторами*.

Упорядочим агентов по возрастанию их состояний, которые будем считать попарно различными: $r_1 < \dots < r_n$. Если было принято некоторое коллективное решение, то, в соответствии с утверждением 2, те агенты, состояния которых меньше принятого решения, будут сообщать нижнюю границу, а те, состояния которых больше, – верхнюю. Значит, вектор равновесных действий будет иметь вид

$$y^*(r) = (0, \dots, 0, y_k^*, 1, \dots, 1).$$

Равновесное действие y_k^* должно быть таким, чтобы выполнялось

$$w(0, \dots, 0, y_k^*, 1, \dots, 1) = r_k.$$

Чтобы найти номер k , введем последовательность чисел [4]

$$(7) \quad q_i = w(\underbrace{0, \dots, 0}_i, \underbrace{1, \dots, 1}_{n-i}), \quad i = \overline{0, n}.$$

Существует единственный эксперт с номером $k = \max_{i=1, n} \min(r_i, q_{i-1})$ [4].

Предположим, что используется не исходная процеду-

ра $w(\cdot)$, а центр предлагает агентам другую процедуру: итоговое решение будет определяться по сообщениям $\{s_i\}$ следующим образом:

- 1) сообщения $\{s_i\}$ упорядочиваются по возрастанию;
 - 2) принимается решение
- (8) $z^*(s) = \max_{i=1, n} \min(s_i, q_{i-1})$.

Утверждение 3 [4]. Процедура (8) принятия решений неманипулируема.

4.2. МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ [5]

Рассматривается динамика мнений агента под воздействием целенаправленных сообщений в его адрес, например, со стороны *средств массовой информации* (СМИ). В этих моделях $c_i = d_i = e_i = 0, i \in N$:

$$(9) \quad r_i^t = (1 - b_i B_i(r_i^{t-1}, u_i^t)) r_i^{t-1} + b_i B_i(r_i^{t-1}, u_i^t) u_i^t, \quad t = 1, 2, \dots, i \in N.$$

На основе модели (9) динамики состояний агента в [5] ставятся и решаются задачи информационного управления.

Аналогично может описываться динамика мнений, представлений, отношений и/или убеждений личности – см. обзор соответствующих используемых в психологии личности моделей в [15, 19].

4.3. МОДЕЛИ КОНСЕНСУСА

В этом классе моделей (см. [5] и обзор в [13]) $b_i = c_i = d_i = 0$, и агенты «усредняют» свои состояния с состояниями или действиями (см. раздел 5.5 ниже) других агентов:

$$(10) \quad E_i(r_i^{t-1}, y_i^{t-1}) = e_i \sum_{j \in N \setminus \{i\}} e_{ij} \hat{E}_i(r_i^{t-1}, y_j^{t-1}) y_j^{t-1},$$

т.е. выражение (3) имеет вид

$$(11) \quad r_i^t = (1 - e_i) r_i^{t-1} + e_i \sum_{j \in N \setminus \{i\}} e_{ij} \hat{E}_i(r_i^{t-1}, y_j^{t-1}) y_j^{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots, i \in N,$$

где элементы матрицы $\|e_{ij}\|$ связей между агентами удовлетворяют условию

$$(12) \quad \sum_{j \in N \setminus \{i\}} e_{ij} = 1, \quad i \in N.$$

Условия существования равновесия можно найти в [5, 13].

4.4. МОДЕЛИ КОНФОРМНОГО ПОВЕДЕНИЯ

В этом классе моделей (см. [2, 18, 21] и обзор в [3]) $b_i = c_i = d_i = 0$, $e_i = 1$, и агент осуществляет бинарный выбор – действовать или бездействовать ($A_i = \{0; 1\}$), причем действие совпадает с состоянием, изменяющимся следующим образом:

$$(13) \quad r_i^t = \begin{cases} 1, & \sum_{j \in N} e_{ij} y_j^{t-1} \geq \zeta_i, \\ 0, & \sum_{j \in N} e_{ij} y_j^{t-1} < \zeta_i, \end{cases}, \quad t = 1, 2, \dots, i \in N,$$

где $\zeta \in [0; 1]$ – порог агента. Агент ведет себя *конформно* [7, 18, 21] – он начинает действовать при превышении его порога взвешенной (с учетом «силы» связей $\|e_{ij}\|$ между агентами)

долей действующих агентов. В противном случае агент бездействует. Результаты анализа динамики конформного поведения типа (13) приведены в [3], теоретико-игровой анализ взаимодействия конформных агентов – в [2].

В моделях информационного управления, в моделях консенсуса и в моделях конформного поведения основной акцент делается на состояниях агентов; действия либо не рассматриваются, либо предполагается, что действие агента совпадает с его состоянием.

4.5. МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ

См. содержательное описание эффектов социального влияния и многочисленные примеры в [6, 7, 14, 20]. С одной стороны, кратко описанные выше модели информационного управления, консенсуса и конформного поведения, несомненно, можно уверенно отнести к моделям *социального влияния*. С другой стороны, в рамках общей модели (3) возможно отражение и других известных в *социальной психологии* эффектов социального влияния, в том числе зависимости представлений, отношений и установок от предшествующего опыта деятельности субъекта.

Подобные эффекты имеют место, например, при возникновении *когнитивного диссонанса*, когда субъект изменяет свои мнения, представления или убеждения, находящиеся в диссонансе с осуществленным поведением (см. стрелку «б»

на рис. 1) – например, с выбираемым им действием. Адекватной при этом может быть следующая модель ($b_i = d_i = 0, e_{ij} = 0$):

$$(14) \quad r_i^t = (1 - c_i C_i(r_i^{t-1}, y_i^{t-1}))r_i^{t-1} + c_i C_i(r_i^{t-1}, y_i^{t-1})y_i^{t-1}, \\ t = 1, 2, \dots, i \in N,$$

в соответствии с которой агент изменяет свое состояние в зависимости от выбранных действий.

Вторым примером является *эффект объяснения задним числом* (эффект *хиндсайта*, или эффект «я так и знал») – склонность воспринимать события, которые уже произошли, или факты, которые уже были установлены, как очевидные и предсказуемые, несмотря на отсутствие достаточной первоначальной информации для их предсказания. Адекватной при этом может быть следующая модель ($b_i = c_i = 0, e_{ij} = 0$):

$$(15) \quad r_i^t = (1 - d_i D_i(r_i^{t-1}, z^{t-1}))r_i^{t-1} + d_i D_i(r_i^{t-1}, z^{t-1})z^{t-1}, \\ t = 1, 2, \dots, i \in N,$$

в соответствии с которой агент изменяет свое состояние в зависимости от результата деятельности (см. стрелку «7» на рис. 1).

Более подробно эти две модели ((14) и (15)) рассматриваются в следующем разделе.

5. Новые результаты

5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ

Наличие общей модели (2)–(3) динамики состояний и действий агентов позволяет систематически перечислить $2^5 = 32$ ее частных случая: параметры I–V, перечисленные выше, могут встречаться или отсутствовать во всех возможных комбинациях.

Систематическое применение приведенной выше общей схемы исследования к этим 32 случаям порождает целую исследовательскую программу. Ниже реализуется наиболее простая ее часть, а именно: рассматриваются модели, учитывающие влияние на состояние агента одного из факторов – II, III, IV или V (модель активной экспертизы, учитывающая стационарное значение фактора I, рассмотрена выше).

5.2. МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ (ФАКТОР V)

Рассмотрим модель (9) с функцией доверия тождественно равной единице и постоянных (во времени) управлениях:

$$(16) r_i^t = (1 - b_i)r_i^{t-1} + b_i u_i, t = 1, 2, \dots, i \in N.$$

Равновесие системы (2), (16) при строго положительных константах доверия ($b_i > 0, i \in N$) обладает следующими свойствами. Во-первых, в равновесии состояния всех агентов тождественно равны соответствующим управлениям¹:

$$(17) r_i^* = u_i, i \in N.$$

Во-вторых, справедлив следующий частичный аналог утверждения 3.

Утверждение 4. При любых $b_i > 0, i \in N$, равновесие в модели информационного управления (2), (16) удовлетворяет условию (17) и имеет следующую структуру: управления $\{u_i\}$ упорядочиваются по возрастанию, и принимается решение

$$(18) z^*(u) = \max_{i=1, n} \min(u_i, q_{i-1}).$$

Так как коллективное решение (18) не зависит от сообщений агентов о своих начальных состояниях, то эта процедура неманипулируема.

В частном случае *унифицированного управления* (одинакового для всех агентов), именно его значение будет единственным равновесным состоянием, одинаковым для всех агентов. Это равновесие в общем случае может не быть унифицированным, так как действия агентов в равновесии могут отличаться от их состояний.

Рассмотрим роль функций доверия. Если функции доверия $\{B_i(\cdot, \cdot)\}$ в процедуре (9) принимают строго положительные значения, то результат утверждения 4 остается в силе: зависимость доверия агента от содержания информации не изменяет равновесия, а влияет лишь на скорость сходимости к нему (в рамках предположения А.9 не увеличивает ее) – ср. рис. 2, рис. 3 и рис. 4.

¹ «Ложь, повторенная тысячу раз, становится правдой» (Шатобриан).

Существуют два «противоположных» подхода к определению свойств функций доверия (см. [5, 19]): последние могут достигать максимума при совпадении или максимальном различии значений своих переменных. Содержательно первый случай соответствует тому, что агент больше доверяет информации, совпадающей с его мнением¹ или максимально близкой к нему (так называемые модели *ограниченного доверия* – Bounded Confidence Models). Второй случай соответствует тому, что агент больше доверяет информации, максимально отличающейся от его мнения². Конечно, возможны и промежуточные варианты (ряд примеров рассмотрен в [5]).

В качестве типовых примеров можно рассматривать функции доверия вида

$$(19) D_{\varepsilon}^{+}(h, g) = \begin{cases} 1 - (h - g)^2, & h, g \in (0; 1), \\ \varepsilon > 0, & (h - g)^2 = 1, \end{cases}$$

или

$$(20) D_{\varepsilon}^{-}(h, g) = \min \{ \varepsilon + (h - g)^2, 1 \},$$

где $\varepsilon > 0$ – сколь угодно малая строго положительная константа.

Функции доверия (19) и (20) отражают две противоположные ситуации. В соответствии с выражением (19) агент тем больше доверяет содержанию получаемой информации, чем ближе она к его состоянию (мнению). Максимально доверие (значение функции доверия равно единице) к содержанию, в точности совпадающему с состоянием.

В соответствии с выражением (20) наоборот – агент тем больше доверяет содержанию получаемой информации, чем сильнее она отличается от его состояния (мнения). Обзор и анализ различных функций доверия и ряда их свойств можно найти в [5, 19].

Пример 1. Пусть $n = 2$, $u_1 = 0,64$, $u_2 = 0,9$, $w(y) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 y_i$,

$b_i = 0,1$, $\gamma_i^t = 0,1$, $i = 1, 2$. На рис. 2 (все примеры, рассматриваемые в настоящей работе, реализованы в программной среде

¹ «Я всегда прав» – себе мы доверяем больше, чем кому бы то ни было.

² «Чем чудовищнее солжешь, тем скорей тебе поверят».

РДС: <https://www.ipu.ru/science/applied-research/products/calculation-of-dynamic-systems>) приведена динамика состояний (непрерывные линии) и действий (пунктирные линии) агентов, а также коллективного решения (зеленая линия). На этом и последующих аналогичных рисунках кривые, относящиеся к одному и тому же агенту, имеют одинаковый цвет.

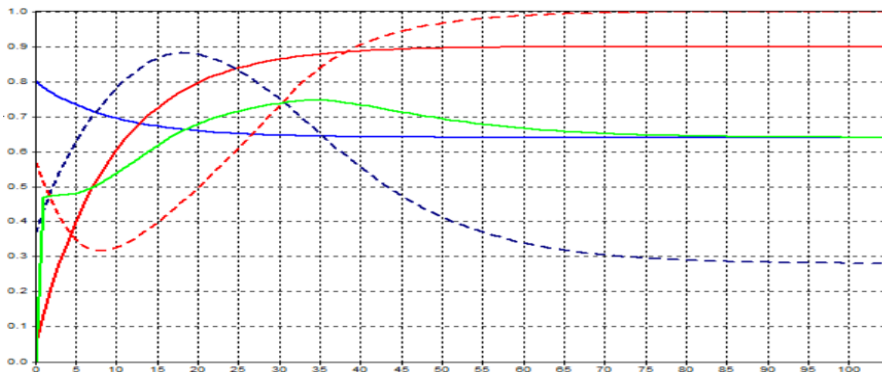


Рис. 2. Динамика состояний и действий агентов в примере 1 с единичной функцией доверия

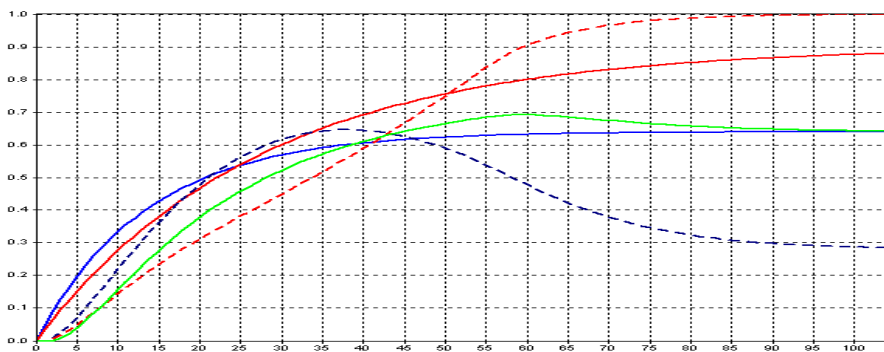


Рис. 3. Динамика состояний и действий агентов в примере 1 с функцией доверия (19)

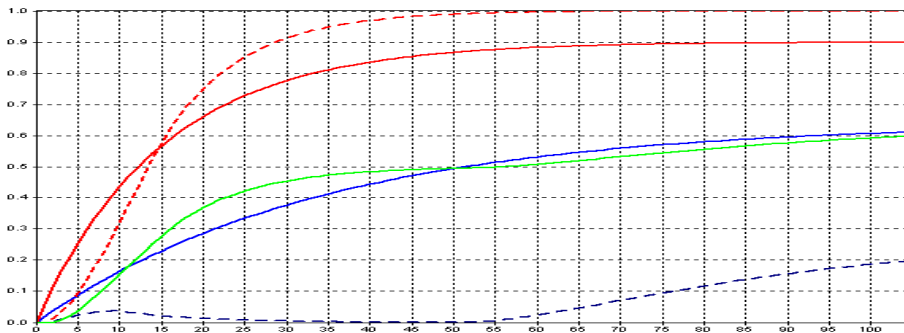


Рис. 4. Динамика состояний и действий агентов в примере 1 с функцией доверия (20)

5.3. МОДЕЛИ КОГНИТИВНОГО ДИССОНАНСА (ФАКТОР II)

Рассмотрим модель (14) с функцией доверия тождественно равной единице (помимо эффекта когнитивного диссонанса, эта модель условно отражает известный в социальной психологии феномен «высказанное становится убеждением» [7]):

$$(21) \quad r_i^t = (1 - c_i)r_i^{t-1} + c_i y_i^{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots, i \in N,$$

Равновесие системы (2), (21) при строго положительных константах доверия ($c_i > 0, i \in N$) обладает следующими свойствами. Во-первых, это условие отсутствия когнитивного диссонанса у всех агентов:

$$(22) \quad r_i^* = y_i^*, \quad i \in N.$$

Это условие следует из того, что в противном случае «равновесие» не будет неподвижной точкой отображения (21).

Во-вторых, это условие того, что действие каждого агента является наилучшим ответом на сложившуюся для него обстановку:

$$(23) \quad y_i^* = y_i^*(y_{-i}^*, y_i^*), \quad i \in N.$$

Это условие следует из подстановки выражений (22) в определение (1) свойств равновесия.

Свойства равновесия в модели когнитивного диссонанса характеризуются следующим утверждением (условие (24) следует из предположения А.2).

Утверждение 5. При любых $c_i > 0, i \in N$, равновесие в модели когнитивного диссонанса (2), (21) удовлетворяет условиям (22)–(23) и имеет следующую структуру: существует множество агентов-«диктаторов» $P \subseteq N$, такое, что существует $z^* \in [0; 1]$, для которого одновременно выполнено

$$(24) w(z^*, y_{-i}^*) = z^*, i \in P,$$

и

$$(25) y_j^* \in \{0; 1\}, j \in N \setminus P.$$

Отметим, что множество P может быть как пустым, так и может совпадать со множеством N всех агентов.

Ничего более конкретного про структуру равновесия в рассматриваемой модели - например, как множество P зависит от начальных значений $(y_i^0, r_i^0), i \in N$, - сказать нельзя, так как все зависит (и зависимость эта существенно неустойчива) от этих начальных значений и параметров $\{\gamma_i^t\}$ и $\{c_i\}$ динамической системы (2), (21). Кроме того, данная процедура манипулируема. Приведем примеры.

Пример 2. Пусть $n = 3, w(y) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 y_i, c_i = 0, 1, \gamma_i^t = 0, 05,$

$i = 1, 2, 3$, а начальные действия совпадают с начальными значениями состояний агентов. На рис. 5 приведена динамика состояний (непрерывные линии) и действий (пунктирные линии) агентов, а также коллективного решения (зеленая линия). Множество P в данном примере состоит из одного агента.

Далее пусть агент, имеющий начальное значение состояния 0,6, сообщает центру оценку этого начального состояния, равную 0,59. Динамика изменяется радикальным образом (ср. рис. 5 и рис. 6). Манипулируя начальным состоянием (уменьшая его), агент увеличивает (с 1/2 до 2/3, делая более выгодным для себя) равновесное коллективное решение (множество P при этом пусто).

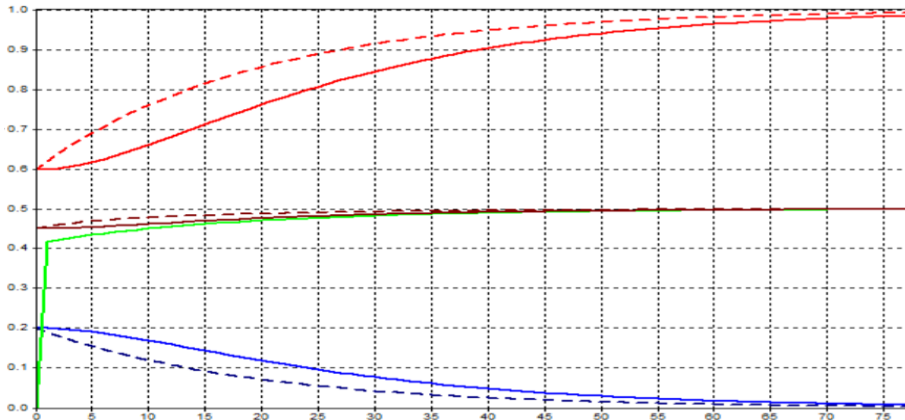


Рис. 5. Динамика состояний и действий агентов в примере 2

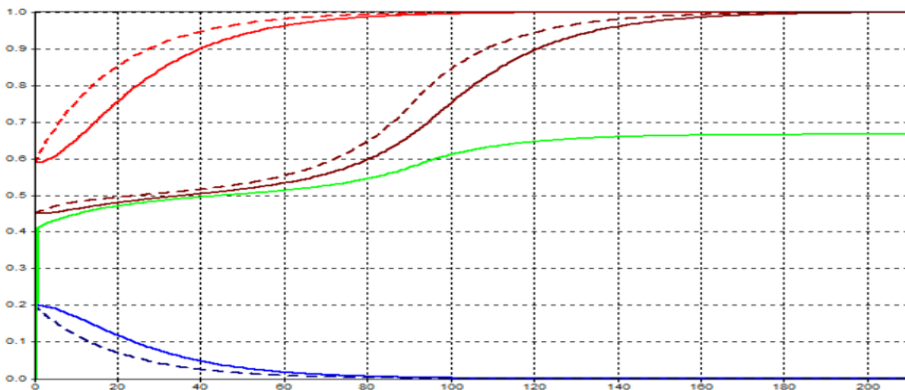


Рис. 6. Динамика состояний и действий агентов в примере 2: манипулирование начальным состоянием

Пример 3. Пусть в условиях примера 2 имеются два агента ($n = 2$). Динамика состояний и действий (нотация та же) агентов приведена на рис. 7. Множество P в этом случае пусто. Видно, что наличие когнитивного диссонанса существенно изменяет равновесие (на рис. 8 для сравнения приведена динамика состояний и действий тех же агентов при $c_1 = c_2 = 0$, т.е. в отсутствие эффекта когнитивного диссонанса).

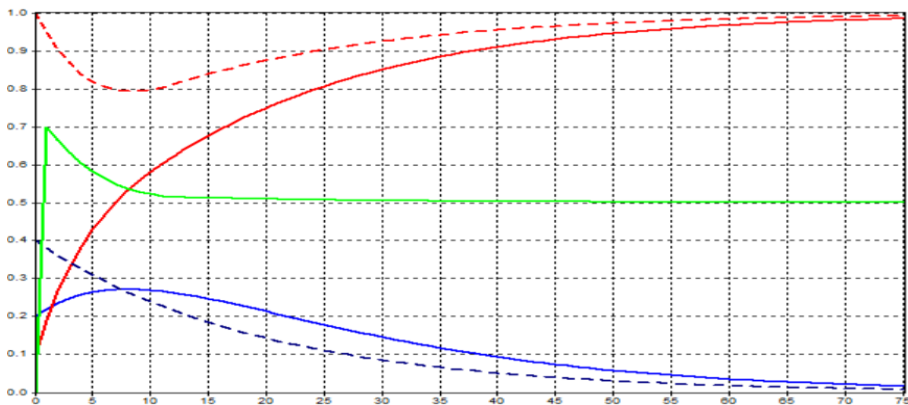


Рис. 7. Динамика состояний и действий агентов в примере 3

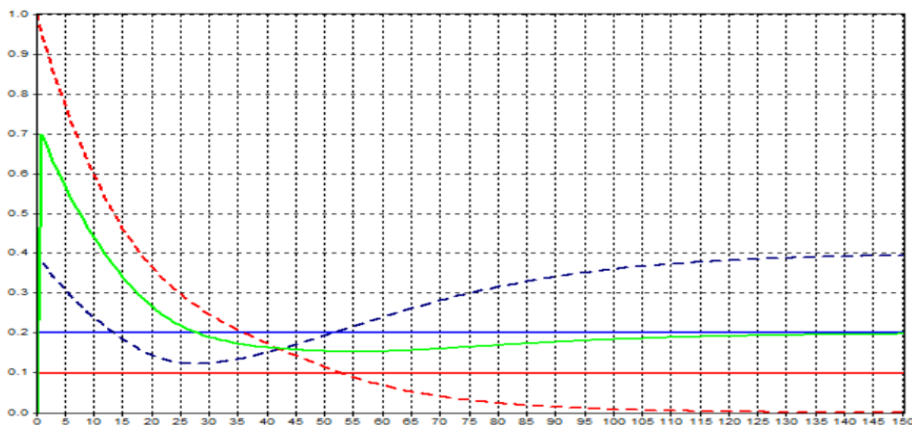


Рис. 8. Динамика состояний и действий агентов в примере 3 в отсутствие эффекта когнитивного диссонанса

5.4. МОДЕЛИ ЭФФЕКТА ХИНДСАЙТА (ФАКТОР IV)

Рассмотрим модель (15) с функцией доверия тождественно равной единице (помимо эффекта хиндсайта эта модель услов-

но¹ отражает известный в социальной психологии феномен «нога в дверях» [7]²):

$$(26) r_i^t = (1 - d_i)r_i^{t-1} + d_i z^{t-1}, t = 1, 2, \dots, i \in N,$$

Равновесие системы (2), (26) при строго положительных константах доверия ($d_i > 0, i \in N$) обладает следующими свойствами.

Во-первых, условие отсутствия эффекта хиндсайта у всех агентов:

$$(27) r_i^* = z^*, i \in N.$$

Это условие следует из того, что в противном случае «равновесие» не будет неподвижной точкой отображения (26).

Во-вторых, действие каждого агента является наилучшим ответом на сложившуюся для него обстановку:

$$(28) y_i^* = y_i^*(y_{-i}^*, z^*), i \in N.$$

Это условие следует из подстановки выражений (27) в определение (1) равновесия.

Свойства равновесия в модели когнитивного диссонанса характеризуются следующим утверждением.

Утверждение 6. При любых $d_i > 0, i \in N$, равновесие в модели эффекта хиндсайта (2), (26) удовлетворяет условиям (27)–(28).

Итак, в модели эффекта хиндсайта все равновесные состояния всех агентов одинаковы (отметим, что аналог утверждения 2 уже не имеет места). Ничего более конкретного про равновесное решение z^* и равновесные действия $\{y_i^*\}$ в рассматриваемой модели - например, как z^* зависит от начальных значений $(y_i^0, r_i^0), i \in N$, - сказать нельзя, так как все зависит (и зависимость эта существенно неустойчива) от этих начальных значе-

¹ Более корректно этот эффект отражала бы модель, в которой скорость изменения состояния агента росла с ростом отклонения текущего его состояния от начального – см. пример 5 ниже.

² «Человек делает то, что он есть, и становится тем, что он делает.» Роберт Музиль, Малая проза, 1930.

ний и параметров $\{\gamma_i^t\}$ и $\{d_i\}$ динамической системы (2), (26).

Кроме того, процедура манипулируема. Приведем пример.

Пример 4. Пусть в условиях примера 2 $d_i = 0,1$, $i = 1, 2, 3$. На рис. 9 приведена динамика состояний (непрерывные линии) и действий (пунктирные линии) агентов, а также коллективного решения (зеленая линия).

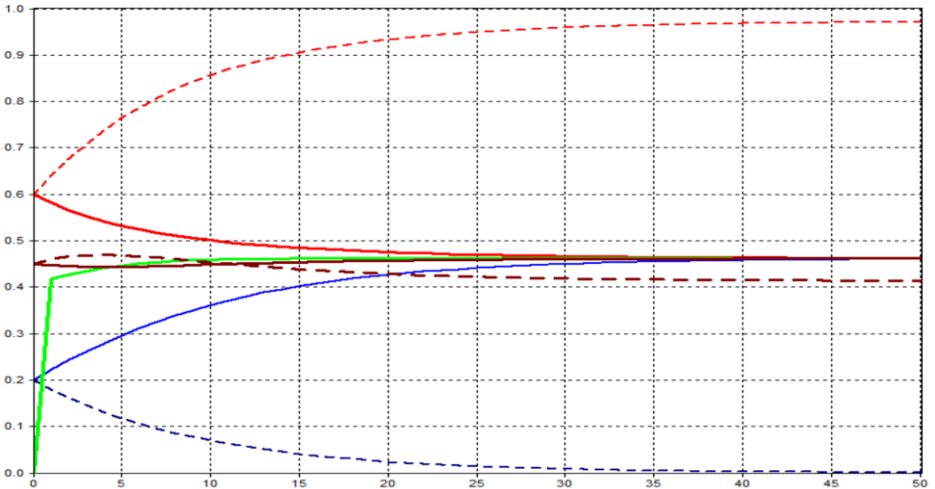


Рис. 9. Динамика состояний и действий агентов в примере 4

Приведем пример манипулирования. Для равновесного коллективного решения в модели эффекта хиндсайта справедлива следующая оценка:

$$\min_i \{r_i^0\} \leq z^* \leq \max_i \{r_i^0\}.$$

В силу предположения А.4 и монотонности процедуры (26) агент с минимальным (максимальным) начальным состоянием, уменьшив (увеличив) сообщаемую им оценку, уменьшит (увеличит) равновесное коллективное решение.

Теперь рассмотрим модель эффекта «нога в дверях» (см. выше), модифицировав выражение (26) добавлением функции доверия $\hat{D}_i(r_i^{t-1}, r_i^0)$, монотонно возрастающей с ростом разности $|r_i^{t-1} - r_i^0|$:

$$(29) r_i^t = (1 - d_i \hat{D}_i(r_i^{t-1}, r_i^0)) r_i^{t-1} + d_i \hat{D}_i(r_i^{t-1}, r_i^0) z^{t-1},$$

$$t = 1, 2, \dots, i \in N,$$

Пример 5. Пусть в условиях примера 4

$\hat{D}_i(r_i^{t-1}, r_i^0) = \varepsilon + (r_i^{t-1} - r_i^0)^2$. Динамика состояний (29) и действий агентов при $\varepsilon = 0,1$ приведена на рис. 10 (ср. с рис. 9): наличие эффекта «нога в дверях» изменяет скорость схождения к равновесию.

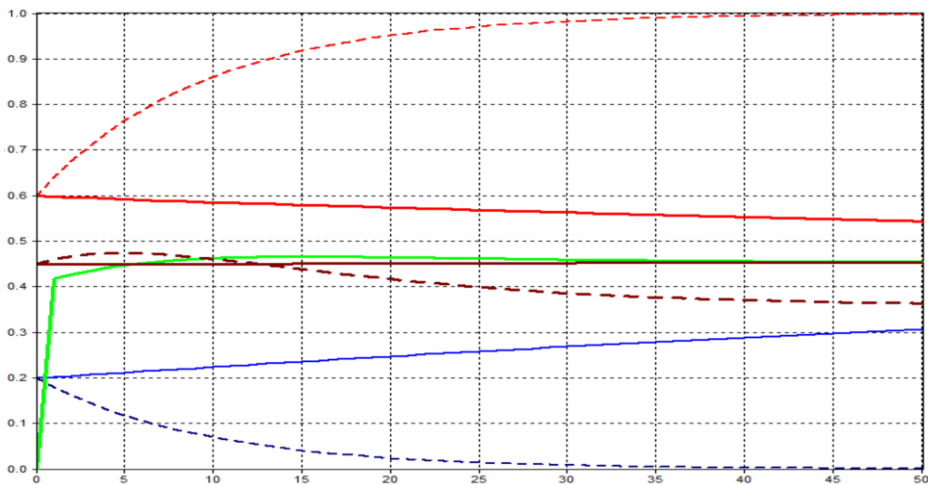


Рис. 10. Динамика состояний и действий агентов в примере 5

В заключение настоящего подраздела рассмотрим случай, когда присутствуют одновременно и эффект когнитивного диссонанса, и эффект хиндсайта:

$$(30) r_i^t = (1 - c_i - d_i) r_i^{t-1} + c_i y_i^{t-1} + d_i z^{t-1}, t = 1, 2, \dots, i \in N,$$

На первый взгляд, наличие двух эффектов приводит к необходимости одновременного выполнения условий (22), (23), (27) и (28), что приведет к тому, что единственным равновесием может быть только унифицированное равновесие. Однако это предположение неверно – два эффекта могут «компенсировать» друг друга, приводя к реализации и других равновесий. Пример приведен на рис. 11.

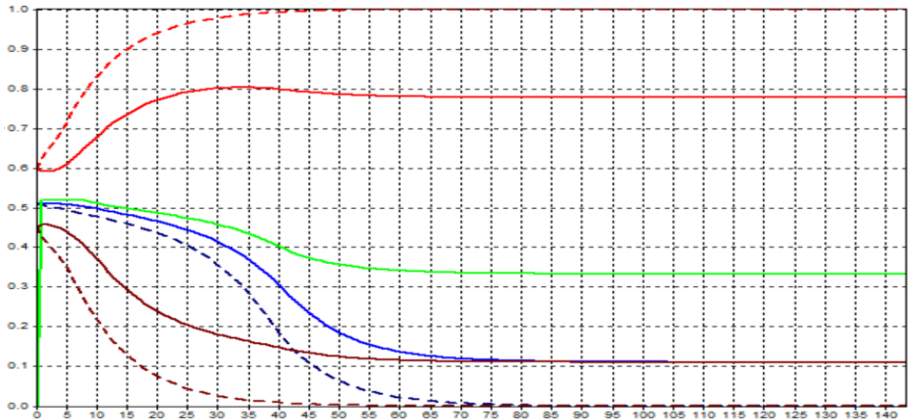


Рис. 11. Пример «взаимной компенсации»
эффектов когнитивного диссонанса и хиндсайта

5.5. МОДЕЛИ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ АГЕНТОВ (ФАКТОР III)

Сначала рассмотрим модель с функцией доверия тождественно равной единице, в которой каждый агент наблюдает состояния всех остальных агентов и изменяет с учетом этого свое состояние следующим образом:

$$(31) \quad r_i^t = (1 - e_i)r_i^{t-1} + e_i \sum_{j \in N \setminus \{i\}} e_{ij} r_j^{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots, i \in N.$$

Обозначим через $A = \|a_{ij}\|$ матрицу влияния, элементы которой имеют вид: $a_{ii} = 1 - e_i$, $a_{ij} = e_i e_{ij}$, $i, j \in N$. Нетрудно проверить, что, в силу выражения (12), матрица A – стохастическая. Уравнение (31) динамики состояний агентов можно записать в матричном виде: $r^t = A r^{t-1}$.

Введем следующее предположение.

A.10. Все элементы матрицы влияния A строго положительны.

Для выполнения этого предположения достаточно, чтобы, например, все e_i и e_{ij} были отличны от нуля. Предположение A.10 является достаточным (см. [5, 13]) для существования матрицы результирующего влияния $A^* = \lim_{\tau \rightarrow +\infty} (A)^\tau$, все строки кото-

рой одинаковы, и для сходимости всех агентов к одному состоянию (*консенсусу*):

$$(32) \quad r^* = A^* r^0.$$

Действия агентов в равновесии удовлетворяют:

$$(33) \quad y_i^* = y_i^*(y_{-i}^*, r^*), \quad i \in N.$$

Утверждение 7. При любых $e_i > 0, i \in N$, в модели взаимодействия агентов (2), (31) равновесием является такое, в котором все агенты имеют одно и то же состояние (32) и выбирают действия, удовлетворяющие выражению (33).

Пусть теперь агенты не имеют возможности наблюдать состояния друг друга. Если в модели когнитивного диссонанса агент изменял свое состояние из-за несовпадения последнего со своим действием, то в рассматриваемой ниже модели (34) взаимодействия агентов он изменяет свое состояние из-за отличия последнего от действий других агентов. Рассмотрим модель (11) с функцией доверия тождественно равной единице:

$$(34) \quad r_i^t = (1 - e_i)r_i^{t-1} + e_i \sum_{j \in N \setminus \{i\}} e_{ij} y_j^{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots, i \in N.$$

Унифицированное равновесие системы (2), (34) при строго положительных константах доверия ($e_i > 0, i \in N$) в рамках предположения А.10 может быть как достижимо (см. пример на рис. 12), так и недостижимо (см. пример на рис. 13) – в зависимости от значений начальных условий и параметров модели.

Пример 6. Пусть в условиях примера 1, $e_i = 0,1, \gamma_i^t = 0,05, i = 1, 2$. Динамика состояний и действий агентов приведена на рис. 12.

Если выбрать $\gamma_i^t = 0,05, i = 1, 2$, то динамика качественно изменится - сумма действий стабилизируется, а мнения образуют цикл – см. рис. 13.

Для случая трех агентов можно привести пример, когда не стабилизируется и сумма действий агентов – см. рис. 14.

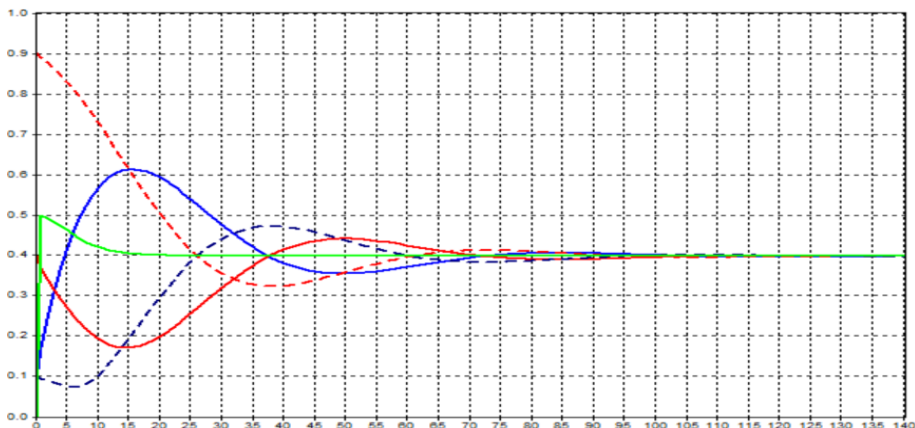


Рис. 12. Динамика состояний и действий агентов в примере 6 при $\gamma = 0,05$

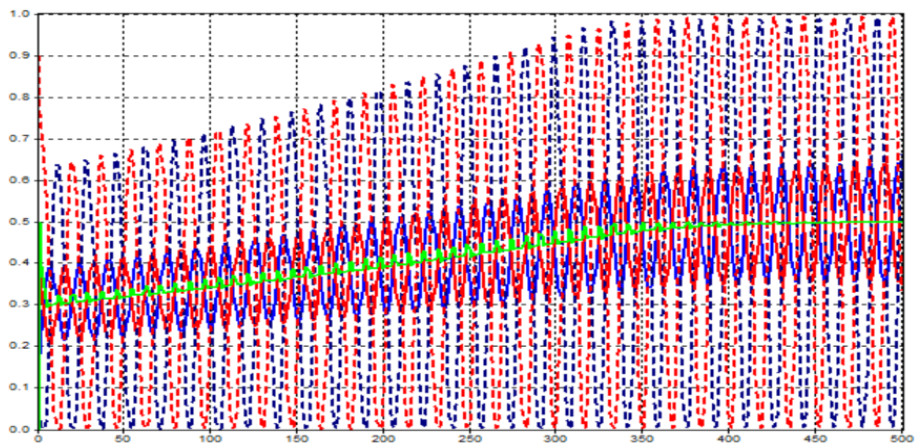


Рис. 13. Динамика состояний и действий агентов в примере 6 при $\gamma = 0,7$

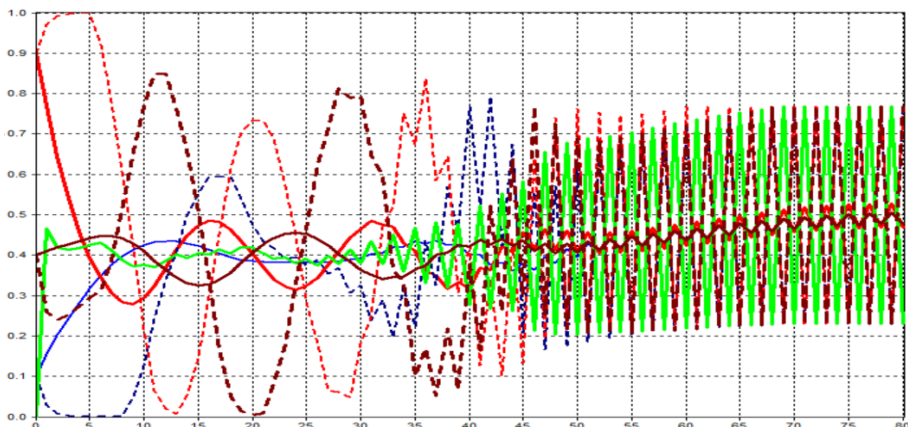


Рис. 14. Пример «расходящейся» динамики в примере 6

6. Заключение

Перспективным направлением дальнейших исследований представляется ослабление или модификация предположений А.1-А.10 и исследование соответствующих моделей (динамики взаимосвязанных состояний и действий агентов, свойств равновесий, различных вариантов дальновидного, рефлексивного или/и стратегического поведения, в изменяющейся внешней среде и др.), в том числе для различных известных типовых моделей принятия коллективных решений. Кроме того, представляет интерес формализация и анализ других факторов, влияющих на динамику состояний и действий агентов. А также, выделение более простых частных случаев рассмотренных выше моделей, которые хорошо бы интерпретировались с точки зрения психологии и допускали бы экспериментальную верификацию.

Литература

1. БЕЛОВ М.В., НОВИКОВ Д.А. *Управление жизненными циклами организационно-технических систем.* – М.: Ленанд, 2020. – 384 с.

2. БРЕЕР В.В. *Теоретико-игровые модели конформного коллективного поведения* // Автоматика и телемеханика. – 2012. – №10. – С. 111–126.
3. БРЕЕР В.В., НОВИКОВ Д.А., РОГАТКИН А.Д. *Управление толпой: математические модели порогового коллективного поведения*. – М.: Ленанд, 2016. – 168 с.
4. БУРКОВ В.Н., ДАНЕВ Б., ЕНАЛЕЕВ А.К. и др. *Большие системы: моделирование организационных механизмов*. – М.: Наука, 1989. – 246 с.
5. ГУБАНОВ Д.А., НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства*. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2010. – 228 с.
6. ЗИМБАРДО Ф., ЛЯЙППЕ М. *Социальное влияние*. – СПб.: Питер, 2000. – 448 с.
7. МАЙЕРС Д. *Социальная психология*. – СПб.: Питер, 1998. – 688 с.
8. МАЛИШЕВСКИЙ А.В. *Качественные модели в теории сложных систем*. – М.: Наука, 1998. – 528 с.
9. НОВИКОВ Д.А. *Математические модели формирования и функционирования команд*. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2008. – 184 с.
10. НОВИКОВ Д.А. *Теория управления организационными системами*. – М.: Физматлит, 2012. – 604 с.
11. НОВИКОВ Д.А. *Управление, деятельность, личность*. – М.: ИПУ РАН, 2020. – 80 с.
12. ОПОЙЦЕВ В.И. *Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения*. – М.: Наука, 1977. – 248 с.
13. *Теория управления: Дополнительные главы*. – М.: Ленанд, 2019. – 552 с.
14. ЧАЛДИНИ Р. *Психология влияния*. – С.-Пб.: Питер, 2003. – 258 с.
15. ALLBARACIN D, SHAVITT S. *Attitudes and Attitude Change* // Annu. Rev. Psychol. – 2018. – Vol. 69, No. 4. – P. 1–29.
16. BANISCH S., OLBRICH E. *Opinion Polarization by Learning from Social Feedback* // The Journal of Mathematical Sociology. – 2019. – Vol. 43, No. 2. – P. 76-103.

17. FLACHE A., MÄS M. et al. *Models of Social Influence: Towards the Next Frontiers* // The Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2017. – Vol. 20, No. 4.
18. GRANOVETTER M. *Threshold Models of Collective Behavior* // The American Journal of Sociology. – 1978. – Vol. 83, No. 6. – P. 1420–1443.
19. HUNTER J., DANES J., COHEN S. *Mathematical Models of Attitude Change*. – Orlando: Academic Press, 1984. – 339 p.
20. PERLOFF R. *The Dynamics of Persuasion*. – N.Y.: Routledge, 2017. – 627 p.
21. SCHELLING T. *Micromotives and Macrobehaviour*. – New York, London: Norton & Co Ltd, 1978. – 256 p.
22. XIA H., WANG H., XUAN Z. *Opinion Dynamics: A Multidisciplinary Review and Perspective on Future Research* // Int. Journal of Knowledge and Systems Science. – 2011. – Vol. 2, No. 4. – P. 72 – 91.

DYNAMICS MODELS OF MENTAL AND BEHAVIORAL COMPONENTS OF ACTIVITY IN COLLECTIVE DECISION-MAKING

Dmitry Novikov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (novikov@ipu.ru).

Abstract: A model of collective decision-making is considered, in which the inter-connected parameters reflect both the mental and behavioral components of the agents' activity: they study the mutually affecting processes of the dynamics of their states and actions, as well as the properties of the corresponding equilibria. Special cases are well-known models: active expertise, information management, threshold and conformal behavior. The proposed approach allows modeling such effects known in social psychology as: cognitive dissonance, hindsight, etc.

Keywords: collective decision-making, state, action, social influence, conformism, cognitive dissonance, hindsight.

УДК 518 + 1:159.9

ББК 78.34

DOI: 10.25728/ubs.2020.85.9

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Г.А. Угольницким.

Поступила в редакцию 07.04.2020.

Опубликована 31.05.2020.