

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Т.А. ТАРАН, В.Н. ШЕМАЕВ

Рассмотрены основные положения математической теории рефлексивного поведения. Исследованы булевы модели многокритериального рефлексивного выбора и определены формальные условия, при которых возникают предпосылки для реализации рефлексивного управления субъектом.

ВВЕДЕНИЕ

При построении систем поддержки принятия решений в социально-экономической, военной, политической и других областях необходимо формализовать в объективных терминах не только материальный (физический) аспект системы, но и ее внутренний (субъективный) аспект, связанный с тем, что в состав системы входят люди, обладающие свободой воли и свободой выбора. В таких системах часто возникают конфликтные ситуации, в основе которых лежит не только материальный, но и когнитивный аспект. В связи с этим в последние годы при планировании принятия решений особое внимание как теоретиков, так и практиков привлекают средства информационного и рефлексивного управления [1–4].

Большую роль в развитии информационного управления сыграли результаты исследований психологии поведения человека. При принятии решения в конфликтной ситуации субъекты действуют, исходя из своих собственных представлений о реальной ситуации и партнере. Они стремятся мыслить один за другого, определять взгляды и механизмы принятия решений партнера, чтобы спрогнозировать его действия и лучше регулировать собственное поведение. Информационное управление осуществляется как передача партнеру информации, на основании которой будет приниматься решение. При этом важным становится умение маскировать собственные цели и возможности, правильно оценивать цели и возможности партнера. Преимущество на интеллектуальном уровне позволяет в ряде случаев проводить рефлексивное управление, в результате которого субъект как бы самостоятельно выбирает линию поведения.

На современном этапе практическое использование рефлексивного управления опережает теоретические исследования в этой области. Поэтому общая проблема разработки научно-методических основ рефлексивного управления с учетом противодействия деструктивному давлению и активному влиянию на других субъектов социально-экономических систем приобретает как научную, так и практическую значимость.

Первые работы по исследованию рефлексивных процессов появились в 60-х годах прошлого столетия. Пионером этого направления выступил В. Лефевр, который разрабатывал концепцию рефлексивного взаимодей-

вия, ввел понятия рефлексивного выбора, рефлексивных игр и предложил дескриптивный язык для описания рефлексивных процессов. Он определил рефлексивное управление как «процесс, в котором один из противников передает другому основания для принятия решения» [5]. Эти исследования развивались в направлении поиска математических моделей, содержащих описание психологических особенностей человека, в частности, его способности осознавать и оценивать свое поведение в социальной среде (например, [6–9]). В дальнейшем эти разработки привели к созданию теории рефлексивных процессов, получившей подтверждения в психологических и социальных исследованиях [10, 11]. Проблемы применения рефлексивного управления для решения задач информационной борьбы исследовались в работах [3, 4]. Математическая теория рефлексивного выбора была развита в [12–17], где предложены модели многокритериального рефлексивного выбора и исследованы условия, создающие предпосылки для управления поведением субъекта при принятии им решения.

Актуальной проблемой исследований рефлексивных процессов является определение формальных условий, необходимых для реализации методов рефлексивного управления при информационном взаимодействии субъектов. Цель статьи — определение таких условий на основе моделей рефлексивного поведения.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕФЛЕКСИИ

Модель субъекта с рефлексией. Под *рефлексией* понимают способность субъекта занимать позицию наблюдателя по отношению к своим мыслям, чувствам и поведению [6]. Такой вид рефлексии называют авторефлексией. Способность субъекта отражать в своем сознании представления, мысли и чувства других субъектов называют взаимной рефлексией. В работах В. Лефевра [6–9] предлагается трехуровневая модель рефлексии и подход к формализации рефлексивного поведения, основанный на этой модели (рис. 1).

В любой ситуации человек подвергается воздействию внешнего мира, которое он воспринимает как реальность. Получая некоторые импульсы от внешней среды, человек регистрирует и осознает далеко не все, поэтому, совершая некоторый поступок, он часто не может объяснить, что побудило его к совершению этого действия. Такое бессознательное восприятие субъектом импульсов внешней среды будем называть давлением внешнего мира. Обозначим его a_1 .

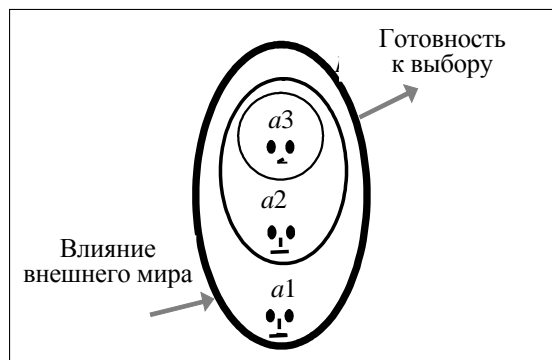


Рис. 1. Схема рефлексии

Каждый человек имеет некоторый опыт функционирования во внешней среде. Опыт создает у него психологическую установку — ожидаемое давление внешнего мира, которое будет различным в различных ситуациях. Даже оказавшись в незнакомой и непривычной ситуации, человек имеет некоторые ожидания относительно внешней среды. Эти прошлые знания человека, ожидаемое давление внешней среды, психологическая установка образуют второй уровень модели субъекта. Обозначим его переменной a_2 .

Каждый человек функционирует во внешнем мире, имея свои собственные желания, строя планы относительно будущего, в том числе и нереальные. Планы и желания отражают представления человека о сложившейся ситуации и о себе самом в этой ситуации. Они порождают интенции субъекта — стремление выполнить некоторое действие. Интенции субъекта формируются на основе его субъективной модели реальности, т.е. его представления о себе самом в сложившейся ситуации. Интенции субъекта, его планы и желания находятся на третьем уровне модели. Обозначим их a_3 .

Таким образом, модель внутреннего мира субъекта состоит из трех уровней восприятия реальности: неосознаваемое давление внешнего мира, ожидаемое давление, сформированное прошлым опытом, и интенции субъекта в сложившейся ситуации. Второй и третий уровни представляют субъективное восприятие самого себя в данной ситуации. Поэтому в совокупности эти два уровня описывают самооценку субъекта — «образ себя» в данной ситуации, который складывается из психологической установки и интенций субъекта.

В любой ситуации человек должен совершать выбор. Иногда он делает его бессознательно, автоматически, подчиняясь сложившейся ситуации, иногда — после длительных размышлений и многочисленных колебаний. Выбор субъекта во многом определяется его планами и желаниями, большое влияние на него оказывает предыдущий опыт. Прежде чем совершается выбор, у человека формируется готовность к нему. Это то действие, которое субъект готов совершить под влиянием давления внешнего мира, основываясь на своем предыдущем опыте с учетом своих планов и желаний. Готовность к выбору еще не означает, что субъект действительно совершит данное действие, поскольку человек обладает свободой воли и может поступать, не сообразуясь со своим опытом и желаниями, однако она отражает некоторое психологическое состояние, в котором субъект будет находиться в момент выбора. Поэтому действие субъекта предсказать трудно, но, имея некоторую модель его поведения, можно предсказать готовность к выбору. Такая модель, описывающая готовность субъекта с рефлексией к совершению некоторого действия, была предложена В. Лефевром [6–9].

Модель рефлексии первого ранга. В работах В. Лефевра рассматривается ситуация, когда субъект стоит перед выбором одной из двух альтернатив, из которых одна оценивается позитивно, другая — негативно. Вводятся две переменные $a_1, a_2 \in \{0,1\}$. Предполагается, что a_1 описывает влияние внешнего мира, причем $a_1 = 0$ означает, что мир склоняет субъекта к выбору негативного действия, а $a_1 = 1$ предлагает устоять от искушения совершить негативный поступок. Вводится булева функция A_1 , описывающая выбор субъекта, причем $A_1 = 0$ означает, что субъект готов поддаться искушению, $A_1 = 1$ — субъект отвергает соблазн.

Если субъект не имеет никакого представления о внешней среде, то его готовность к выбору будет описываться простым равенством $A1 = f(a1)$. Тогда он может всегда выбирать только негативный или только позитивный полюс $f(a1)=0, f(a1)=1$, просто подчиняться давлению мира $f(a1)=a1$ или действовать всегда наперекор ему $f(a1)=-a1$. Во всех этих случаях поведение субъекта не зависит от его внутреннего мира. Он не рефлексивизирует ситуации, поэтому такая модель описывает субъекта без рефлексии.

Модель рефлексии первого ранга содержит некоторые представления субъекта о себе и ситуации («образ себя»), поэтому она описывается функцией $A1 = f(a1, a2)$, где $a1$ — оценка давления внешнего мира в сторону выбора одной из альтернатив; $a2$ — некоторая «внутренняя модель» субъекта с его представлением о себе в момент выбора. Значение $a2 = 0$ свидетельствует о том, что субъект ожидает деструктивного влияния внешнего мира, $a2 = 1$ — позитивного.

Простейшая модель субъекта с рефлексией строится, исходя из двух фундаментальных предположений [6]. Первое: если влияние внешнего мира позитивно, то субъект всегда готов к позитивному выбору $f(1, a2)=1$. Эта идеализация рефлексивного субъекта накладывает ограничения на модель, так как, обладая свободой воли, человек способен совершать дурные поступки, даже если он не подвергается негативному воздействию извне. Но в данной теории такие ситуации исключаются и рассматриваются только «плохие» ситуации, когда мир склоняет субъекта к действиям, имеющим негативные оценки. Это ограничение необходимо, так как дает возможность в дальнейшем построить простую и ясную модель, имеющую прозрачную психологическую интерпретацию. Второе предположение: субъект способен противостоять негативному влиянию среды $f(0, a2) = -a2$.

Из этих двух равенств нетрудно составить таблицу истинности булевой функции, описывающей возможности выбора субъекта в ситуации выбора между негативным и позитивным действиями. Из табл. 1 следует, что если влияние внешнего мира позитивно $a1 = 1$, то субъект принимает позитивное решение $A1 = 1$. Если влияние внешнего мира деструктивно $a1 = 0$, то основную роль в поведении субъекта играет его психологическая установка. Если ожидания субъекта завышены, он настроен на позитивное восприятие внешнего мира $a2 = 1$, то, столкнувшись с негативным воздействием, испытывает фрустрацию и подчиняется давлению извне $A1 = 1 \rightarrow 0 = 0$. Если же ожидания субъекта адекватны давлению мира $a2 = 0$, он готов к деструктивному влиянию извне и способен противодействовать ему, выбирая позитивное решение $A1 = 0 \rightarrow 0 = 1$. Отсюда следует, что модель рефлексии первого ранга представляет собой импликацию

$$A1 = f(a1, a2) = a2 \rightarrow a1 = \neg a2 \vee a1, \quad (1)$$

которая показывает, как вырабатывается готовность к выбору под влиянием внешней среды и психологической установки субъекта без учета его планов

Таблица 1

$a1$	$a2$	$f(a1, a2)$
1	1	1
1	0	1
0	1	0
0	0	1

и желаний. Такая схема рефлексивного поведения описывает «автоматические» действия субъекта и поэтому названа «примитивным выбором» [12].

Модель рефлексии второго ранга. Модель рефлексии второго ранга получается путем подстановки выражения $a3 \rightarrow a2$ на место $a2$ в формуле (1). Обоснование подстановки вполне оправданно. Если $a2$ — некоторая внутренняя модель самого себя в некоторой ситуации («образ себя») и субъект рефлексии эту ситуацию, то внутренняя модель также должна быть рефлексивной. Поэтому на место $a2$ подставляется импликация $a3 \rightarrow a2$, где $a3$ — представление субъекта о своих желаниях и планах в данной ситуации («образ себя»), $a2$ — его оценка ситуации, т.е. давление внешнего мира, как он себе его представляет, его психологическая установка. В результате такая подстановка означает появление «образа себя» у «образа себя», когда субъект оценивает свой собственный образ, свои представления о себе, т.е. выражение $a3 \rightarrow a2$ описывает уже *самооценку* субъекта.

Таким образом, полная модель рефлексивного выбора субъекта описывается функцией

$$A1 = (a3 \rightarrow a2) \rightarrow a1, \quad (2)$$

где $a1$ — влияние внешнего мира; $a2$ — психологическая установка; $a3$ — интенции субъекта; $A2 = a3 \rightarrow a2$ — самооценка субъекта, которая складывается из его психологической установки $a2$ и интенций $a3$ в текущей ситуации [6].

Для модели (2) имеется восемь возможностей при $a1, a2, a3 \in \{0, 1\}$. Четыре из них описывают позитивное давление мира, т.е. $a1 = 1$, тогда готовность субъекта к выбору $A1 = 1$. Рассмотрим четыре возможности, когда давление мира $a1 = 0$.

1. $A1 - (1 \rightarrow 1) \rightarrow 0 = 0$.
2. $A1 - (0 \rightarrow 1) \rightarrow 0 = 0$.
3. $A1 - (1 \rightarrow 0) \rightarrow 0 = 1$.
4. $A1 - (0 \rightarrow 0) \rightarrow 0 = 0$.

Теперь готовность субъекта к выбору существенно зависит от его самооценки $A2 = a3 \rightarrow a2$. Если субъект имеет положительную самооценку $a3 \rightarrow a2 = 1$ (случаи 1, 2, 4), то он готов совершить негативное действие. Следует подчеркнуть, что речь идет о самооценке в момент выбора: стремление повысить свою самооценку в сложившейся ситуации побуждает субъекта к негативному действию, если он неправильно его оценивает (случаи 1,2) или испытывает к этому желание (случай 4). Если же у субъекта складывается негативный «образ себя» (негативная самооценка), то он готов противостоять негативному давлению среды и выбрать позитивное действие (случай 3). Таким образом, самооценка субъекта в «плохой ситуации» способна корректировать его поведение. При этом мы видим, что субъект с завышенной самооценкой чаще способен совершать негативные действия.

Этическая интерпретация рефлексивного выбора. В социальной среде поступки и действия субъекта оцениваются в терминах морали и эти-

ки: «хорошо» или «плохо», «честно» или «нечестно», «успех» или «неудача» и т.п. Такие оценки могут быть сведены к категориям добра и зла. Тогда модель (2) имеет прозрачную этическую интерпретацию для описания морального выбора. Обоснованность этой интерпретации подтверждается многочисленными исследованиями в области этики, религии и политики [6, 13, 16, 18], а также психологическими экспериментами [6, 10].

При этической интерпретации функция (2) описывает выбор между «добром» и «злом». Субъект не совершает зла, если мир не склоняет его к этому. Выбор между добром и злом определяется третьим уровнем рефлексии. В модели заложена возможность свободы выбора субъекта: испытывая интенции к добру, он может выбрать добро, даже если мир склоняет его к злу. Он может выбрать любое действие. Выбор непредсказуем, если он осознает, что мир заставляет его выбрать зло.

Из анализа модели следует, что субъект с завышенной (позитивной) самооценкой склонен к совершению негативных поступков. Этот вывод на первый взгляд кажется парадоксальным, однако он согласуется с учениями об этике. Для субъекта, который всегда стремится к выбору наилучшей альтернативы, характерны желания, имеющие наивысшую (позитивную) оценку. В этом проявляется его стремление к совершенству. Парадокс состоит в том, что моральное самосовершенствование не обеспечивает, а затрудняет положительную самооценку, ибо чем выше моральное развитие, тем строже требования к себе [6]. Оценка «образа себя» у совершенного субъекта никогда не равна 1, т.е. никогда не бывает совершенной. Как только субъект начинает считать себя совершенным, он перестает им быть: «Никакой святой не способен почувствовать себя святым». Рефлексивная модель отражает этот феномен: заниженная самооценка означает стремление к совершенству и осознание своего несовершенства.

Модель рефлексии позволяет объяснить еще один интересный феномен человеческого поведения. В модели (2) частота позитивных выборов выше негативных: субъект в пяти случаях из восьми (с частотой 0,625) выбирает позитивный полюс и только в трех — негативный. Преобладание позитивных выборов в формуле рефлексии приводит к отношению «золотого сечения»: при отсутствии объективных критериев человек с частотой, близкой к отношению «золотого сечения» (0,618), совершает позитивный выбор [6, 9]. Эта особенность человеческой психики была тщательно проверена психологом Д. Адамсом-Веббером в многочисленных психологических испытаниях [10]. Эксперименты проводились среди участников разных возрастных и социальных групп. В условиях отсутствия объективных критериев участникам эксперимента предлагалось отнести предъявляемые стимулы к одному из полюсов шкалы: негативному или позитивному. Например, разбить однородные объекты (зерна фасоли в одном из экспериментов) на две группы: «хорошие» и «плохие». Оказалось, что с частотой, близкой к 0,618, испытуемые чаще относят объекты к группе «хороших».

Реалистический выбор. Строя модель рефлексивного субъекта, мы предполагаем, что он обладает свободой выбора, т.е. при некоторых условиях способен реализовать любой из своих планов. Такой выбор называется *реалистическим* [6].

Реалистический выбор субъекта определяется как все решения уравнения

$$A1 = (a3 \rightarrow a2) \rightarrow a1 = a3. \quad (3)$$

В двузначной булевой модели существует пять возможностей реалистического выбора. Если мир склоняет субъекта к выбору позитивного полюса $a_1 = 1$, то, независимо от значения a_2 , субъект подчиняется ему. Если мир склоняет его к выбору негативного полюса $a_1 = 0$, то выбор субъекта зависит от его ожиданий. Если ожидаемое давление завышено и не совпадает с реальностью $a_2 = 1$, то субъект может выбрать только негативный полюс. При адекватном представлении о давлении мира $a_1 = 0$, $a_2 = 0$ субъект имеет полную свободу выбора и может реализовать любой из своих планов.

Аксиоматический вывод модели субъекта с рефлексией. Многочисленные исследования позволили В. Лефевру обобщить особенности рефлексии в ситуации бинарного выбора на случай континуальной шкалы, где негативный и позитивный полюсы являются граничными точками. Особенности рефлексивного выбора сформулированы как аксиомы [6], которые могут быть приняты для построения рефлексивной модели, описываемой функцией от трех переменных $A_1 = f(a_1, a_2, a_3)$. В работе [6] даны основные положения построения формальной модели рефлексии. Предполагается, что выбор происходит на некоторой области оценок D с двумя граничными точками, соответствующими негативному (0) и позитивному (1) полюсам, т.е. $A_1, a_1, a_2, a_3 \in D$.

1. Аксиома свободы воли. Свобода воли в формальной модели понимается как способность субъекта иметь любые планы, независимо от давления среды и его представлений, и в некоторых обстоятельствах их реализовывать. Это означает, что функция $A_1 = f(a_1, a_2, a_3)$ такова, что $A_1, a_1, a_2, a_3 \in D$ и все переменные принимают значения из D , независимо друг от друга, и существуют такие значения $a_1^*, a_2^* \in D$, что $A_1 = f(a_1^*, a_2^*, a_3) \equiv a_3$, где a_3 — любое значение из D .

2. Аксиома свободы выбора. В некоторых обстоятельствах субъект имеет свободу выбора: он способен реализовывать некоторые из своих планов. Тогда существуют такие значения $a_1, a_2 \in D$, что $A_1 = f(a_1, a_2, a_3) = a_3$, где $a_3 \in D$.

3. Аксиома доброжелательности. Если мир склоняет субъекта к выбору позитивного полюса, то он совершает позитивный выбор. Тогда $f(1, a_2, a_3) = 1$, где a_2, a_3 — любые значения из D .

4. Аксиома вреда доверчивости. Если мир склоняет субъекта к выбору негативного полюса, то он всегда подчиняется этому давлению, когда воспринимает его как позитивное. Тогда $f(0, 1, a_3) = 0$, где a_3 — любое значение из D .

Аксиомы 1 и 2 формулируют основное отличие субъекта от объекта: у субъекта существуют механизмы целеполагания, источником которых является он сам. Согласно аксиоме 1, субъект может иметь любые планы, в том числе невыполнимые. В некоторых обстоятельствах его выбор непредсказуем. Согласно аксиоме 2, субъект при определенных условиях может реализовать некоторые из своих планов. Аксиомы 3 и 4 формулируют граничные условия. В этической интерпретации аксиома 3 означает, что в идеальном

мире субъект не может совершить зло. Согласно аксиоме 4, субъект всегда выбирает зло под давлением внешнего мира, если он верит, что мир совершенен.

В зависимости от области определения могут строиться различные модели рефлексивного выбора. Булевы переменные $\{0,1\}$ и двузначная булева алгебра используются в работах В. Лефевра [6–9]. В [6, 7] построена вероятностная модель двоичного выбора с переменными, определенными на интервале действительных чисел $[0,1]$. Полная модель взаимодействия двух субъектов, позволяющая вычислить вероятность выбора позитивного полюса бинарной шкалы одним из них, построена в работе [7]. В [16] предложена 4-значная булева алгебра для описания рефлексивного выбора в конфликтной ситуации, учитывающая такие стили поведения, как конфронтация и компромисс. Эти результаты обобщены на случай многозначной булевой логики, где выбор происходит на частично упорядоченном множестве оценок [12, 14–16]. В [17] построена нечеткая модель взаимодействия двух субъектов. Эти и другие исследования могут успешно использоваться при разработке моделей интеллектуальных рефлексивных агентов [12].

В работах [12–16] предложено рассматривать выбор субъекта, регулируемый частично упорядоченным множеством норм, образующим булеву решетку. Введение многозначных оценок позволяет описать многокритериальный выбор в виде векторной булевой модели рефлексивного поведения.

ВЕКТОРНАЯ БУЛЕВА МОДЕЛЬ РЕФЛЕКСИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Многозначные булевы системы норм. Далеко не всегда альтернатива выбора может быть однозначно оценена положительно или отрицательно. Как правило, одна и та же альтернатива имеет как те, так и другие аспекты. Рассмотрим выбор между несколькими альтернативами, каждая из которых оценивается по n критериям, которые представляются биполярными шкалами L_1, \dots, L_n с позитивными и негативными полюсами. Декартово произведение $L_1 \times \dots \times L_n$ образует частично упорядоченное множество булевых векторов, называемых *нормами*, в которых 1 соответствует позитивному, а 0 — негативному полюсу шкалы. Такое упорядоченное множество векторов образует булеву решетку $\langle L, \leq \rangle$, в которой $\sup L = \mathbf{I}$ (универсальная верхняя грань), $\inf L = \mathbf{0}$ (универсальная нижняя грань), где \mathbf{I} — единичный, $\mathbf{0}$ — нулевой вектор. Булева решетка образует алгебру $B_n = \langle L, \vee, \&, \neg \rangle$ с операциями дизъюнкции $x \vee y = \sup\{x, y\}$ и конъюнкции $x \& y = \inf\{x, y\}$, где $x, y \in L$. Операция отрицания $\neg x$ соответствует дополнению x в решетке L . Импликация вводится как $x \rightarrow y = \neg x \vee y = \sup\{\neg x, y\}$. Значение импликации $|x \rightarrow y| = \mathbf{I}$, если и только если $x \leq y$.

Многоальтернативный выбор оценки на шкале норм описывается теперь векторной моделью рефлексивного выбора вида (2). Закономерности, которым подчиняется многокритериальный рефлексивный выбор, исследо-

ваны в работах [14, 15]. Условия реалистического выбора определяются как все решения уравнения

$$(a3 \rightarrow a2) \rightarrow a1 = a3$$

и имеют следующий вид:

$$a1 \leq a3 \leq a2 \rightarrow a1. \tag{4}$$

Из (4) следует, что в условиях многокритериального выбора на частично упорядоченном множестве норм субъект имеет три возможности.

1. Если $a2 \rightarrow a1 = a1$, то выбор субъекта *детерминирован* влиянием внешней среды, и он может реализовать только ту интенцию, которая совпадает с давлением среды.

2. Если $a1 < a2 \rightarrow a1$, то субъект обладает *частичной свободой выбора* и может реализовать некоторые из своих интенций, таких что $a3 \in [a1, a2 \rightarrow a1]$.

3. Если $a1 = a2 = 0$, то субъект обладает *полной свободой выбора* и может реализовать любую из своих интенций.

Для иллюстрации модели рассмотрим пример. На одной из конференций автору данной статьи было предложено объяснить случай из жизни с точки зрения теории рефлексивного поведения. На аэродроме сложилась критическая ситуация, когда самолет, с которым в воздухе случилась авария, просил разрешения на посадку. Согласно инструкции, диспетчер в сложившихся обстоятельствах не имел права посадить самолет. Однако диспетчер был очень опытным, поэтому он мог бы пойти на нарушение инструкции и попытаться посадить самолет. Несмотря на опытность, он не стал совершать посадку, что вызвало удивление его коллег. Они ожидали от него другого решения.

В этой ситуации перед диспетчером стояла альтернатива: посадить или не посадить самолет. Такая альтернатива имеет две оценки на шкале L_1 : «нарушить инструкцию» / «выполнить инструкцию». С другой стороны, попытка посадить самолет означает возможность спасти людей и машину, в противном случае они могут погибнуть в воздухе, а самолет может разбиться. Поэтому в качестве другой шкалы L_2 выступают оценки: «спасти самолет» / «гибель самолета». Таким образом, действия диспетчера регулируются системой норм, образующих булеву решетку $L = L_1 \times L_2$ (рис.2).

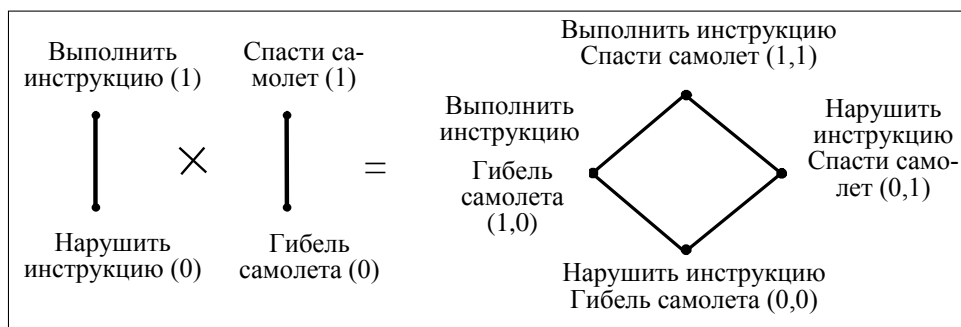


Рис. 2. Булева шкала норм

Самой плохой ситуацией, в которой может оказаться диспетчер — это нарушение инструкции с последующей гибелью самолета. Именно этого он боится, именно это и является давлением внешнего мира, поэтому $a_1 = (0,0)$. Психологическая установка диспетчера, учитывая его опытность, по всей вероятности, была «нарушить инструкцию и спасти самолет». Тогда $a_2 = (0,1)$. Реалистический выбор диспетчера $(0,0) \leq a_3 \leq (0,1) \rightarrow (0,0)$, откуда следует решение $a_3 = (1,0)$, т.е. «выполнить инструкцию, что может повлечь за собой гибель самолета». Именно такое решение и принял диспетчер в данном случае. Подчеркнем, что это решение — мгновенное, времени на раздумья и колебания у него не было, и это решение в данной ситуации характерно именно для опытного диспетчера. Что произойдет, если у него будет больше времени для принятия решения? Предположим, что готовность к выбору в момент времени t осознана диспетчером и становится его психологической установкой в момент времени $t + 1$, т.е. $a_2(t + 1) = (1,0)$. Тогда его готовность к выбору $a_3(t + 1) = (1,0) \rightarrow (0,0) = (0,1)$, т.е. «нарушить инструкцию и попытаться спасти самолет». Далее эти колебания будут повторяться, и выбор диспетчера непредсказуем. Здесь проявляется особенность моделей рефлексивного выбора: они позволяют предсказать готовность субъекта именно в момент выбора.

В работе [14] исследован механизм влияния психологической установки субъекта на формирование его интенций; условия, при которых сбываются ожидания субъекта по отношению к внешнему миру; влияние самооценки на выбор субъекта, а также условия, при которых выбор диктуется давлением среды. Эти результаты дают возможность оценить готовность субъекта к выбору той или иной альтернативы, степень свободы выбора и на их основании попытаться предсказать его поведение. Предсказуемость дает возможность управления. Таким образом, мы приходим к двойственной задаче: задаче управления. Исследование модели с целью определения возможностей рефлексивного управления было проведено в работе [14]. В [17] предложен метод когнитивного моделирования рефлексивного управления. В данной работе получены новые результаты исследования условий рефлексивного управления при взаимодействии двух субъектов.

РЕФЛЕКСИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Рассмотрим рефлексивного субъекта A как объект возможного рефлексивного управления. Тогда функция готовности субъекта к выбору (2) представляет собой модель объекта управления, в которой входные переменные — a_1, a_2, a_3 , выходная переменная — A_1 . Полагаем, что все переменные принимают любые значения на булевой решетке норм $\langle L, \leq \rangle$, независимо друг от друга. Задача управления заключается в том, чтобы найти такое воздействие на субъект A , чтобы максимально приблизить его готовность к выбору некоторого желаемого значения A_1^* . Полагаем, что на объект управления можно воздействовать, влияя на его психологическую установку и интенции, т.е. управляемыми переменными являются a_2, a_3 . В качестве

управляющего воздействия может выступать давление среды $a1$. Желаемое значение готовности к выбору задается как управляющее воздействие внешней среды $A1^* = a1$. Решение такой задачи рассматривалось в работах [16, 17]. В данном разделе кратко изложим основные результаты исследования, а в следующем — более полное решение этой проблемы с учетом влияния другого субъекта.

Для анализа возможностей рефлексивного управления введем понятие степени диссонанса и консонанса. Согласно теории Л. Фестингера [20], человек испытывает диссонанс от принятого решения, если оно не удовлетворяет всем критериям выбора. Если решение характеризуется как положительными, так и отрицательными аспектами, то степень диссонанса будет зависеть от числа негативных аспектов и их важности. Качеством, противоположным диссонансу, является консонанс, который интерпретируется как степень удовлетворенности принятой альтернативой. Поскольку переменные $a1, a2, a3$ принимают значения в булевой решетке, степень консонанса можно описать высотой $h(x)$ элемента x в решетке 2^n . Чем больше высота элемента в решетке, тем больше «позитивных» элементов в векторе оценок. Высота элемента x может быть вычислена как норма вектора

$$x = (x_1, \dots, x_n): h(x) = \sum_{i=1}^n x_i.$$

Найдем условия, при которых у субъекта формируется готовность к такому выбору, к которому его склоняет внешняя среда. В этом случае $A1 = a1$, т.е.

$$(a1 \rightarrow a2) \rightarrow a1 = a1 \quad \text{или} \quad \neg(a3 \rightarrow a2) \vee a1 = (a3 \& \neg a2) \vee a1 = a1.$$

Тогда необходимым условием рефлексивного управления будет выполнение неравенства

$$\neg(a3 \rightarrow a2) \leq a1. \quad (5)$$

Условие (5) показывает, что рефлексивному управлению будут подвержены субъекты с завышенной самооценкой: чем больше самооценка $A2 = a3 \rightarrow a2$, тем меньше значение $\neg(a3 \rightarrow a2)$. Поэтому основной принцип рефлексивного управления можно сформулировать так: *для того чтобы склонить субъекта к принятию решения, навязываемого ему средой, необходимо создать у него завышенную самооценку в момент выбора*. Тогда стратегия рефлексивного управления заключается в повышении самооценки субъекта A

$$h(a3 \rightarrow a2) \Rightarrow \max.$$

Самооценка субъекта складывается из его желаний и психологической установки и будет тем выше, чем ниже желания и выше ожидания. В частности, если желания субъекта ниже его ожиданий $a3 \leq a2$, то $A2 = \mathbf{I}$. У субъекта формируется нормативная самооценка, и любой импульс внешней среды может быть воспринят субъектом как готовность к выбору, так как $\mathbf{I} \rightarrow a1 = a1$. Отсюда следует еще один принцип рефлексивного управления: *ожидания должны превосходить желания*, поэтому стратегия рефлексивно-

го управления заключается в том, чтобы обещать больше, чем желает субъект, т.е. $h(a2) \geq h(a3)$.

Условие (5) будет выполнено также, если $a3 \leq a1$ и $a3 \leq -a2$. Действительно, если предложения среды превышают планы и желания субъекта, а ожидания завышены, то вполне естественно, что субъект готов их принять.

Поясним эти принципы на примере, в котором описан реальный психологический эксперимент (пример взят из работы [2]).

Торговые агенты фирмы-поставщика предложили своим постоянным клиентам сделать очередной заказ на товар и сообщили трем группам клиентов разную информацию. Первой группе сделали обычное предложение, второй — дополнительно сообщили, что поставки будут сокращены в ближайшее время, третья группа получила те же сведения, что и вторая, а также «конфиденциальное» сообщение о том, что никто из других клиентов не знает о предстоящем сокращении поставок. В результате первая группа клиентов сделала обычный заказ, вторая — заказала в два раза больше товара, а третья, — считающая, что владеет эксклюзивной информацией, заказала в шесть раз больше товара. Почему так произошло? Вторая группа подверглась информационному управлению. Полученная ею информация навязывала ей определенный шаблон поведения: необходимо создать «запас» товара, пока не будут найдены дополнительные ресурсы у других поставщиков. Но третья группа получила ту же информацию, необходимую для принятия решения. Дополнительные сведения о «секретности» этой информации не меняют шаблона поведения, почему же они заказали еще больше? Отличие заключается в дополнительном психологическом влиянии, в результате которого возросла их самооценка. Они почувствовали собственную значимость — владение исключительной информацией. В их планы не входило покупать так много товара, но перспектива оказаться в более выгодном положении по сравнению с конкурентами, которые останутся без товара в ближайшем будущем, создала у них завышенные ожидания относительно этой ситуации. Именно на это и было направлено психологическое воздействие. Оно и является рефлексивным управлением.

Когда субъект осознанно склоняется к выбору, навязываемому ему средой? Очевидно, тогда, когда его выбор реалистичен и совпадает с давлением среды, т.е. условие реалистического выбора приобретает вид

$$a1 = a3 = a2 \rightarrow a1.$$

Для этого должно выполняться неравенство $-a2 \leq a1$, что возможно в двух случаях:

1. Если $a2 = \mathbf{I}$, т.е. субъект воспринимает давление среды как *норму*. Тогда любое давление среды претворяется в готовность к действию.

2. Элементы $a1$ и $a2$ несравнимы и $h(a2) \geq h(a1)$. Это условие описывает случаи, когда у субъекта нет опыта действий в подобной ситуации, его ожидания достаточно высоки, однако несравнимы с давлением мира. Они лежат в «другой плоскости». В такой ситуации субъект подчиняется давлению среды, так как боится оказаться в еще более «плохой» ситуации.

Следовательно, для того, чтобы субъект осознанно подчинялся внешнему давлению, необходимо создать у него завышенные ожидания $h(a2) > h(a1)$. (Этим принципом пользуются все политики во время предвыборной кампании.)

Рассмотрим пример. При покупке квартиры субъект может обратиться в посредническую фирму. Средства массовой информации часто предупреждают население, что можно стать жертвой мошенников, которые предлагают незаконные сделки, поэтому следует проверять права фирмы на продажу квартир. Если субъект A имеет завышенные ожидания, он легко может стать жертвой обмана. Допустим, предлагаемый вариант соответствует норме: «незаконно, выгодно» ($a1 = (0,1)$). Если при этом ожидания субъекта A завышены, он не сомневается в том, что ему предлагают «законную и выгодную» сделку $a2 = (1,1)$ и не осознает, что предложения незаконны, то тогда выполнено условие $-a2 \leq a1$. Так как $(0,0) \leq (0,1)$, он готов согласиться на эту сделку. Если же его ожидания несравнимы с предложениями фирмы, допустим, он ожидал от нее законных, но невыгодных предложений $a2 = (1,0)$, тогда $-a2 = (0,1) = a1$, и субъект A также готов заключить сделку.

Согласно условию (5), субъект подчинится давлению извне, если у него сложится самооценка, превышающая давление среды или несравнимая с ним. Действительно, при давлении среды $a1 = (0,1)$ условие (5) выполнено, если $a3 \rightarrow a2 = (1,0)$, т.е. субъект A видит себя совершающим законную и невыгодную сделку, или если $a3 \rightarrow a2 = (1,1)$, т.е. он считает, что совершает законную и выгодную сделку. Очевидно, что для достижения целей рефлексивного управления можно создать у субъекта A завышенную самооценку в момент выбора, например, предоставить ему дезинформацию, представив предлагаемую сделку как законную.

ОБЩАЯ МОДЕЛЬ РЕФЛЕКСИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Рассмотрим общую схему взаимодействия двух субъектов A и B (рис. 3), которые подвергаются одному и тому же влиянию внешней среды [6]. Субъект A предполагает, что его партнер B также обладает рефлексией, т.е. имеет свои представления о влиянии среды, свои планы и желания в сложившейся ситуации. При этом субъект A каким-то образом интерпретирует свои отношения с субъектом B и его представления об этих отношениях. Определим условия, при которых субъект A , имеющий модель своих отношений с партнером B , в наибольшей степени подвержен влиянию извне.

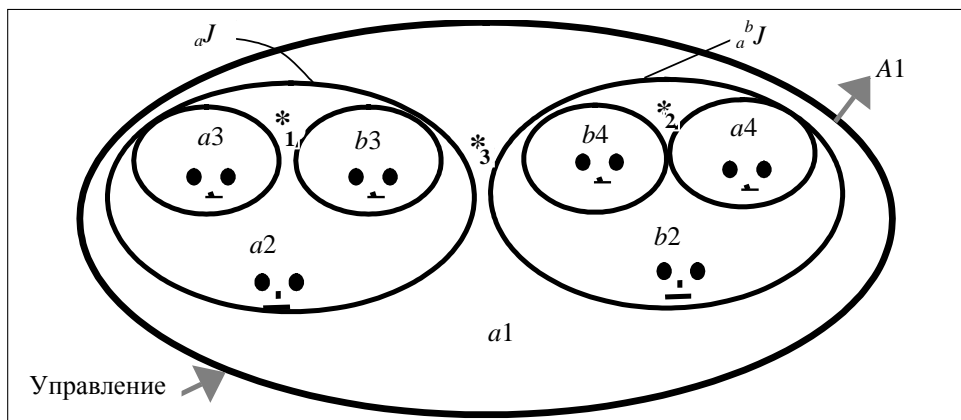


Рис. 3. Модель взаимодействия двух субъектов с рефлексией

Готовность к выбору субъекта A при взаимодействии с субъектом B будет зависеть не только от его собственных представлений и психологических характеристик, но также от его представлений о партнере B , поэтому общая модель взаимодействия будет содержать представления A о себе самом («образ себя») и о партнере («образ другого»). Представление субъекта A о себе («образ себя») обозначим ${}_a J$. Тогда оно описывается выражением

$${}_a J = a3 * {}_1 b3 \rightarrow a2 = \neg(a3 * {}_1 b3) \vee a2, \quad (6)$$

где $a3$ — интенции; $a2$ — ожидания субъекта A ; $b3$ — интенции субъекта B с точки зрения A ; $*_1$ — некоторая операция (рассмотренная ниже), моделирующая представления A о взаимодействии субъектов.

Представление субъекта A о партнере ${}_a^b J$ (образ субъекта B с точки зрения A) имеет структуру, аналогичную (6):

$${}_a^b J = b4 * {}_2 a4 \rightarrow b2 = \neg(b4 * {}_2 a4) \vee b2,$$

где $b4$ — представление субъекта A о том, как B представляет себе свои интенции; $b2$ — ожидания субъекта B с точки зрения A ; $a4$ — интенции субъекта A с точки зрения B , как их представляет себе A ; $*_2$ — некоторая операция, моделирующая представления B о взаимодействии субъектов с точки зрения A .

Готовность к выбору субъекта A зависит от его представлений

$$A1 = {}_a j * {}_{3a}^b j \rightarrow a1,$$

или

$$A1 = (a3 * {}_1 b3 \rightarrow a2) * {}_3 (b4 * {}_2 a4 \rightarrow b2) \rightarrow a1,$$

где $a1$ — давление внешнего мира; $*_3$ — некоторая операция, моделирующая отношения между партнерами.

Обозначим представление субъекта A о взаимодействии (функцию взаимодействия) с партнером B как ${}_a^{A*B} J = {}_a J * {}_{3a}^b J$.

Условие рефлексивного управления — подчинение субъекта A давлению внешнего мира

$$A1 = {}_a^{A*B} J \rightarrow a1 = \neg({}_a^{A*B} J) \vee a1 = a1,$$

откуда следует

$$\neg({}_a^{A*B} J) \leq a1.$$

Тогда общая стратегия рефлексивного управления субъектом A — создание завышенных ожиданий относительно его взаимодействия с партнером

$$h({}_a^{A*B} J) \Rightarrow \max,$$

т.е. управляющее воздействие на субъекта A должно максимизировать его представления о ситуации. Это соответствует основному принципу рефлекс-

сивного управления: ожидания должны превышать реальность. Завышенные ожидания создают предпосылки для рефлексивного управления.

Учитывая структуру функции готовности к выбору, очевидно, что в качестве операции $*_3$ целесообразно выбрать дизъюнкцию \vee . Тогда функция взаимодействия состоит из «взаимодействия представлений» ${}_a^{A^*B} j = {}_a J \vee {}_a^b J$ где ${}_a J$ — представление субъекта A о ситуации; ${}_a^b J$ — представление субъекта A о представлениях субъекта B , причем ${}_a J \leq {}_a^{A^*B} J$ и ${}_a^b J \leq {}_a^{A^*B} J$. Операция дизъюнкции моделирует «толерантное» взаимодействие, что отвечает задаче рефлексивного управления: субъектом легче управлять, если он считает, что имеет хорошие отношения с партнером.

Для достижения цели рефлексивного управления представления субъекта A о себе и партнере также нужно максимизировать

$$h({}_a J) = h(a3 *_1 b3 \rightarrow a2) = h(\neg(a3 *_1 b3) \vee a2) \Rightarrow \max ,$$

$$h({}_a^b J) = h(b4 *_2 a4 \rightarrow b2) = h(\neg(b4 *_2 a4) \vee b2) \Rightarrow \max .$$

Для этого нужно, во-первых, создать у A завышенные ожидания относительно давления внешней среды $h(a2) \rightarrow \max$; во-вторых, создать у A представление о завышенных ожиданиях партнера $h(b2) \rightarrow \max$; в-третьих, минимизировать представления A о целях и возможностях обоих партнеров $h(a3 *_1 b3) \rightarrow \min$, $h(b4 *_2 a4) \rightarrow \min$. Отсюда следует, что в качестве операций $*_1, *_2$ целесообразно выбрать операцию конъюнкции $\&$ и найти минимальные представления

$$h(a3 \& b3 \rightarrow \min , h(b4 \& a4) \rightarrow \min .$$

Выбор операции конъюнкции соответствует наиболее «жесткой» ситуации. Субъект A , реально оценивая ситуацию как конфликтную, предполагает, что ни он сам, ни его партнер не согласятся добровольно отказаться от своих планов, снизить свои притязания, поскольку это не соответствует их интересам. Поэтому при достижении своих целей оба пойдут на соглашение только в том случае, если их интересы совпадут, и будут придерживаться бескомпромиссного поведения во всем, что касается несовпадения целей. Выбор операции дизъюнкции в одном или обоих случаях не нарушает общности полученных ниже выводов. Он будет соответствовать компромиссным ситуациям, когда один или оба партнера готовы идти на уступки даже в ущерб своим интересам. В этом случае, однако, рефлексивное управление затрудняется.

Из анализа выбора операций взаимодействия следуют важные принципы поведения в конфликтной ситуации, способствующие проведению рефлексивного управления.

1. В процессе прямого взаимодействия с партнером необходимо придерживаться толерантного стиля поведения, проявлять готовность идти на компромисс, поддерживая у субъекта A завышенные представления о ситуации (выбор операции дизъюнкции).

2. Следует придерживаться стратегии поиска и удовлетворения общих интересов, а в случае их несовпадения — стратегии изменения целевых установок субъекта *A* и маскировки собственных целей (выбор операции конъюнкции).

Из анализа полученных выражений можно сделать выводы о возможностях рефлексивного управления субъектом *A* со стороны субъекта *B*. Эти выводы содержатся в табл. 2, где для сравнения приведены принципы рефлексивного управления в военных науках, сформулированные специалистом США по исследованию зарубежных вооруженных сил Т.Л. Томасом [4].

Таблица 2

Формальные выводы	Принципы рефлексивного управления
$h(a3) \rightarrow \min$ — снизить целевые установки (интенции) $a3$ субъекта <i>A</i> . Соответствует мотивационному управлению: субъект <i>A</i> мог бы оказаться в таком положении, при котором он вынужден снизить свои претензии и принять планы в пользу своего партнера	Создание цели для противника: помещение противника в условия, когда он должен выбрать цель в нашу пользу (например, провокация угрозой, на которую он должен рационально реагировать)
$h(b3) \rightarrow \min$ — снизить представления субъекта <i>A</i> о целевых установках субъекта <i>B</i> . Соответствует информационному управлению, при котором субъекту <i>A</i> передается ложная информация о целях партнера <i>B</i>	Передача образа собственной цели: финт баскетбольного игрока является классическим примером, когда вы изменяете восприятие противника, и он задумывается над тем, что вы делаете или собираетесь делать
$h(b4) \rightarrow \min$ — снизить представления субъекта <i>A</i> о возможностях субъекта <i>B</i> . У субъекта <i>A</i> складывается ложный образ доктрины партнера о процедурах принятия им решений	Передача образа собственной доктрины: предоставление ложного взгляда на процедуры и алгоритмы процесса принятия решения
$h(a4) \rightarrow \min$ — снизить представления субъекта <i>A</i> о том, как <i>B</i> представляет себе целевые установки и возможности субъекта <i>A</i> , которому передается ложная информация о заниженной информированности партнера <i>B</i> , стремящегося обеспечить себе максимальную секретность информации	Формирование цели путем передачи образа ситуации: симуляция слабости или создание ложной картины
$h(a2) \rightarrow \max$ — создать у субъекта <i>A</i> завышенное представление о ситуации, передавая ему ошибочную или неполную информацию	Передача образа ситуации: обеспечение противника ошибочным или неполным образом ситуации
$h(b2) \rightarrow \max$ — создать у субъекта <i>A</i> представление о завышенном образе ситуации у партнера <i>B</i> , предоставляя стороне <i>A</i> ложный образ собственного восприятия ситуации	Передача образа собственного восприятия ситуации: обеспечение противника ложной информацией или порциями правды, основанной на собственном восприятии ситуации

Выводы, полученные на основе формального анализа модели рефлексивного выбора, совпадают с принципами рефлексивного управления, которые используются в военном деле, политике, при манипулировании общественным сознанием. Это служит подтверждением правильности описания рефлексивных процессов предлагаемыми математическими моделями, что позволяет использовать их в системах поддержки принятия решений в социально-экономической и политической сферах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основу подхода к решению задач информационного взаимодействия целесообразно положить теорию рефлексивного управления и субъектно-ориентированную парадигму поддержки принятия решений. Содержание предложенного подхода — определение механизмов и формализованных принципов рефлексивного управления относительно готовности субъектов социально-экономических систем к выбору той или иной альтернативы. Предложенные модели позволяют определить степень свободы выбора субъектов, на основании которой можно прогнозировать их поведение и управлять ими в условиях когнитивного конфликта с учетом влияния внешней среды, психологической установки и интенций субъектов. Использование математических моделей позволяет разработать методику рефлексивного и информационного управления и на ее основе автоматизировать процесс поддержки принятия решений в сложных конфликтных ситуациях. Перспективой дальнейших исследований в данном направлении является разработка нечетких моделей и методов рефлексивного управления, учитывающих представления субъектов о структуре и динамике развития ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лепский В.Е., Степанов А.М.* Рефлексивное управление в тоталитарных сектах // Рефлексивное управление: Сб. науч. статей. — М.: Ин-т психологии РАН, 2000. — С. 122–133.
2. *Новиков Д.А., Чхартушвили А.Г.* Рефлексивные игры. — М.: СИНТЕГ, 2003. — 160 с.
3. *Толубко В.Б.* Інформаційна боротьба (концептуальні, теоретичні, технологічні аспекти). — Київ: НАОУ, 2003. — 192 с.
4. *Томас Т.Л.* Рефлексивное управление в России: теория и военные приложения // Рефлексивные процессы и управление. — 2002. — 2, №1. — С. 71–89.
5. *Лефевр В.А.* Конфликтующие структуры. — М.: Ин-т психологии РАН. — 2001. — 136 с.
6. *Лефевр В.* Алгебра совести. — М.: Когито-центр, 2003. — 426 с.
7. *Lefebvre V.* Sketch of Reflexive Game Theory / Proc. Workshop on Multi-Reflexive Models of Agent Behaviour. — Los Alamos, New Mexico, USA. — 1998. — P. 1–40.
8. *Лефевр В.* Космический субъект. — М.: Ин-кварти, 1966. — 168 с.
9. *Lefebvre V.* The Fundamental Structures of Human Reflexion / The Structure of Human Reflexion: The Reflexional Psychology of Vladimir Lefebvre. — Peter Lang Publishing, 1990. — P. 5–69.

10. *Adams-Webber J.* Self-Reflexion in Evaluating Others // Amer. J. Psychology. — 1997. — № 110. — P. 527–541.
11. *Miller L.D., Sulcoski M.F.* Application of Generalized Reflexive Behaviour: Model for Situation-Specific-Decisions / Proc. of Workshop on Multi-Reflexive Models of Agent Behaviour. — Los Alamos, New Mexico, USA. — 1998. — P. 69–94.
12. *Taran T.A.* Many-Valued Boolean Model of the Reflexive Agent // J. Multiple Valued Logic. — OPA N.V. Gordon and Breach Science Publ. — 2001. — 7. — P. 97–127.
13. *Taran T.A.* The Formalization of Ethical Values in Models of Reflexive Behaviour // Proc. Workshop on Multi-Reflexive Models of Agent Behaviour. — Los Alamos, New Mexico, USA. — 1998. — P. 95–108.
14. *Taran T.A.* Булевы модели рефлексивного управления в ситуации выбора // Автоматика и телемеханика. — 2001. — № 10. — С. 103–117.
15. *Taran T.A.* Многозначные булевы модели рефлексивного выбора // Рефлексивное управление: Сб. науч. тр. — М.: Ин-т психологии РАН, 2000. — С. 122–132.
16. *Taran T.A.* Модель рефлексивного поведения в конфликтной ситуации // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 1998. — № 1. — С. 156–165.
17. *Taran T.A., Шемаев В.Н.* Когнитивное моделирование рефлексивных процессов // Искусственный интеллект. — 2004. — № 2. — С. 173 – 179.
18. *Шрейдер Ю.А.* Лекции по этике. — М.: МИРОС, 1994. — 136 с.
19. *Биркгоф Г.* Теория решеток. — М.: Наука, 1984. — 568 с.
20. *Фелингер Л.* Теория когнитивного диссонанса. — СПб.: Ювента, 1999. — 318 с.

Поступила 29.11.2004