

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ РЕФЛЕКСИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАДНЫМ ПОВЕДЕНИЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Турлакова С. С.

Отмечено отсутствие универсальных механизмов в моделях принятия решений в экономических системах. Выделено наименее изученное направление моделирования рефлексивных процессов проявления стадного поведения на предприятиях. Проведен анализ подходов к построению рефлексивных моделей принятия решений для использования в моделировании процессов рефлексивного управления стадным поведением на предприятиях. В ходе анализа определено, что для использования в моделировании процессов рефлексивного управления стадным поведением на предприятиях необходимо выделение отдельных элементов приведенных моделей и их адаптация исследуемой к предметной области. Намечены перспективные направления исследований в разработке рефлексивных моделей управления процессами проявления стадного поведения на предприятиях.

Відмічено відсутність універсальних механізмів у моделях прийняття рішень у економічних системах. Виділено найменш вивчене напрямлення моделювання рефлексивних процесів прояву стадної поведінки на підприємствах. Проведено аналіз підходів до побудови рефлексивних моделей прийняття рішень для використання у моделюванні процесів рефлексивного управління стадною поведінкою на підприємствах. У ході аналізу визначено, що для використання в моделюванні процесів рефлексивного управління стадною поведінкою на підприємствах необхідно виділяти окремі елементи приведених моделей та адаптувати їх до предметної області, що вивчається. Намічено перспективні напрямки дослідження у розробці рефлексивних моделей управління процесами прояву стадної поведінки на підприємствах.

Absence of universal mechanisms is marked in the models of making decision in the economic systems. The least studied direction of modelling of reflexive processes of display of herd behavior selected at enterprises. The analysis of approaches conducted of reflexive models of making decision for the use in the modelling of processes of reflexive management of herd behavior at enterprises. It is certain during analysis, that for the use in the modelling of processes of reflexive management of herd behavior at enterprises the selection of separate elements of the resulted models and their adaptation is needed probed to subject domain. Perspective directions of researches are set in development of reflexive models the processes of display of herd behavior at enterprises.

Турлакова С. С.

канд. экон. наук,  
доц. каф. ИСПР ДГМА,  
и. о. ст. науч. сотр. отд. ПМЭС ИЭП НАНУ  
svetlana.turlakova@gmail.com

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;

ИЭП НАНУ – Институт экономики промышленности Национальной академии наук Украины, г. Киев.

УДК 330.1

Турлакова С. С.

### **АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ РЕФЛЕКСИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ РЕФЛЕКСИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАДНЫМ ПОВЕДЕНИЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Выбор агентами управления конкретного решения и проявление стадного поведения на предприятиях обусловлены рефлексивными составляющими процесса принятия решений, среди которых информированность агентов управления относительно области принимаемого решения, компетентность, авторитетность, склонность агентов управления к подражанию, их интенциональная направленность. Чтобы избежать рисков проявлений стадного поведения и их последствий на предприятиях и эффективно использовать проявления стадного поведения в процессе принятия решений агентами управления, необходимым является разработка и применение соответствующего механизма рефлексивного управления стадным поведением с использованием методов экономико-математического моделирования.

В работах [1, 2] В.А. Лефевром была введена алгебра рефлексивных моделей, которую многие авторы использовали в своих исследованиях для описания поведения агентов рефлексивных взаимодействий, процесса принятия решений и процессов рефлексивного управления. Новиков Д.А. [3, 4, 5, 7], Чхартшвили А.Г. [3, 4, 5, 6], Губко М.В. [7] в своих работах также активно развивали данное направление моделирования в моделях принятия решений в экономических системах. Однако, отсутствие универсальных механизмов, которые могли бы применяться к любым экономическим системам, требует анализа существующих подходов к построению рефлексивных моделей принятия решений и выявление необходимых параметров моделирования для конкретных предметных областей. Наименее изученным направлением является моделирование рефлексивных процессов проявления стадного поведения на предприятиях.

Целью статьи является анализ подходов к построению рефлексивных моделей принятия решений для использования в моделировании процессов рефлексивного управления стадным поведением на предприятиях.

Рассмотрим основные направления исследований в рамках построения рефлексивных моделей принятия решений агентами и соответствующего управления агентами.

В работах [1, 2] В.А. Лефевром была введена алгебра рефлексивных моделей, которую многие авторы использовали в своих исследованиях для описания поведения агентов рефлексивных взаимодействий, процесса принятия решений и процессов рефлексивного управления. В [1, 2] взаимодействия агентов рассматриваются как своеобразная рефлексивная игра, в которой противники имитируют рассуждения друг друга. Описываются также некоторые схемы рефлексивного управления – взаимной передачи партнерами оснований для принятия решений и обсуждаются различные приложения идей рефлексивного анализа. В своих работах Лефевр В.А. рассматривает взаимодействия некоторых конфликтующих противников символами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Чтобы принять решение,  $X$  должен построить модель ситуации (например, особым образом схематизировать плацдарм, на котором происходит взаимодействие, вместе с находящимися на нем войсками). В свою очередь,  $Y$  также строит некоторую модель ситуации, но, кроме того, он может осознать, что у его противника  $X$  есть некоторая модель ситуации. В свою очередь,  $Z$  может осознать, что внутренний мир  $X$  и  $Y$  устроен именно таким образом. Успех в конфликте во многом предопределен тем, как противники имитируют внутренний мир друг друга. Основная идея исследований Лефевра В.А. заключается в том, что не имея детализированной картины, в которой учитываются особенности ре-

флексивного строения внутреннего мира противника, невозможно правильно истолковать его действия. Однако даже при небольшом числе участников рефлексивные процессы имеют сложное строение, и необходим специальный аппарат, позволяющий сделать их предметом анализа. В качестве такого аппарата Лефевр В.А. вводит операторы осознания для фиксации рефлексивных процессов участников взаимодействий. При этом автор использует символическую сумму (многочлен), состоящей двух элементов булевой алгебры. Многочлены позволяют изображать состояния рефлексивных систем, а их символические суммы интерпретируются как операторы осознания. Также автор вводит операции сложения и умножения многочленов. Они вводятся так же, как и операции над «обычными» многочленами, с той лишь существенной разницей, что умножение оказывается некоммутативным. Лефевр В.А. описывает случаи, когда персонажи производят осознание последовательно и одновременно и вводит понятие «число сознаний» для последнего случая, которое математически определяется степенью многочлена. Подобное изображение процессов осознания значительно расширяет возможности исследования более сложных типов осознания.

Кроме того, Лефевром В.А. в работе [2] описана простейшая рефлексивная модель социального организма. Здесь автор рассматривает некоторое поле материальных вещей, на фоне которых разворачивается рефлексивное представление. Каждый персонаж отражает поле материальных вещей и имеет собственную картину. Кроме того, картины, которые есть у одних персонажей, могут отражаться другими. Для некоторых персонажей  $e_i$  какие-то элементы могут отсутствовать. Подобное разложение в ряд позволяет дать глобальную рефлексивную характеристику социального организма или некоторых его частей. В какой-то мере развитость социального организма (цивилизации) может характеризоваться увеличением членов ряда, необходимых для ее описания. Так, например, у каждого персонажа есть не только картина материального фона, но и модели картин, которые есть у других персонажей. У системы «муравейник» – простейшей системы, вторичных картин нет. В системах же, имеющих «квадратичные члены», может проявляться общение типа человеческого и могут возникать «духовные ценности». Кроме того, Лефевр В.А. определяет рефлексивную неравноправность персонажей: одни отображены почти во всех картинах мира (например, кинозвезды), другие в очень немногих и т.д. Изображение посредством подобного символического ряда позволяет видеть реализацию рефлексивного управления. В частности, оказывается возможным поставить задачу о внешнем управлении, когда исследователь желает привести систему в определенное состояние. Поскольку исследователь иногда является одним из персонажей, он должен включить свои рефлексивные картины в ряд. При этом автор определяет, что задача рефлексивного управления будет в воздействии на фиксированные члены ряда. Возможно, при дальнейшем развитии подобная модель позволит установить некоторые связи «свободного члена» с остальными членами, а это в свою очередь, даст возможность описывать эволюцию всей системы. Кроме того, может быть, удастся объяснить функции различных семиотических систем: культовые обряды, мода и т.д. через их проявление в определенных членах ряда. Безусловно, Лефевр В.А. является одним из основоположников алгебры рефлексивных процессов. В моделировании процессов рефлексивного управления стадным поведением на предприятиях элементы моделей Лефевра В.А. будут использованы для описания поведения агентов в рефлексивных взаимодействиях, процесса принятия решений и процессов рефлексивного управления. Однако, модели рефлексивного управления стадным поведением будут дополнены и расширены элементами, соответствующими предметной области и особенностям процессов проявления стадности.

В работах [3–5] дан обзор теоретико-игровых моделей принятия решений. Отмечено, что большинство концепций равновесия в теории игр основаны на том, что параметры игры являются общим знанием, т.е. известны всем игрокам (агентам): всем агентам известно, что это всем известно и так далее до бесконечности. В [3] рассмотрен общий случай, когда агенты могут иметь различные представления о представлениях друг друга, что приводит

к бесконечной (рефлексивной) структуре информированности. Авторами показано, что в таком случае целесообразно применение концепции информационного равновесия и описана соответствующая рефлексивная модель принятия решений. В работе [4] авторами продолжены исследования рефлексивных моделей принятия решений и приведен ряд соответствующих прикладных задач. В рамках описанных моделей появляется возможность исследования зависимости информационного равновесия и выигрышей агентов от их информированности и, в частности, определения максимального целесообразного в той или иной степени ранга рефлексии. Кроме того, имея зависимость информационного равновесия от структуры информированности, можно ставить и решать задачи рефлексивного (информационного) управления – определения той структуры информированности, при которой управляемые субъекты оказываются в требуемом состоянии (равновесии).

В работе [3, 4] Новиков Д.А. и Чхартишвили А.Г. исследуют математические подходы к описанию рефлексии и, в частности, описывают основные результаты своих исследований в рамках нового раздела математической теории игр – рефлексивные игры. Работа Новикова Д.А. и Чхартишвили А.Г. [5] посвящена обсуждению современных подходов к математическому моделированию рефлексивных процессов в управлении. Рассматриваются рефлексивные игры, описывающие взаимодействие субъектов (агентов), принимающих решения на основании иерархии представлений о существующих параметрах (информационная рефлексия) и о принципах принятия решений оппонентами (стратегическая рефлексия). Анализ поведения фантомных агентов, существующих в представлениях других реальных или фантомных агентов, и свойств информационной (и рефлексивной) структур, позволили авторам предложить в качестве решения игры информационное (соответственно, рефлексивное) равновесие, которые являются обобщением ряда известных концепций равновесия в некооперативных играх и моделях коллективного поведения. Модели информационной и стратегической рефлексии, предложенные в [5], позволяют описывать и изучать поведение рефлексивных субъектов, исследовать зависимость выигрышей агентов от рангов рефлексии, ставить и решать задачи информационного и рефлексивного управления в организационных, экономических, социальных и других системах, в военном деле и т.д.

Так, в [5] авторы определяют, что выбор действия агентом определяется правилом индивидуального рационального выбора  $P(f, X) \subseteq X$ , которое выделяет множество наиболее предпочтительных с точки зрения агента действий  $P(f, X) = \text{Arg max}_{x \in X} f(x)$ . Кроме того,

в работе [5] вводится гипотеза детерминизма, которая заключается в том, что агент стремится устранить с учетом всей имеющейся у него информации существующую неопределенность и принимать решения в условиях полной информированности (другими словами, окончательный критерий, которым руководствуется агент, принимающий решения, не должен содержать неопределенных параметров). То есть агент должен в соответствии с гипотезой детерминизма устранить неопределенность относительно не зависящих от него параметров (быть может, путем введения определенных предположений об их значениях).

Исходя из этого авторы [5] выводят детерминированную модель – правило индивидуального рационального выбора:  $P(f, X, I) = \text{Arg max}_{x \in X} \hat{f}(x)$ , где  $I$  – информация, используемая агентом при устранении неопределенности  $f \xrightarrow{I} \hat{f}$ .

В рамках приведенной модели принятия решений, действия агента определяются ничем иным, как его информированностью о состоянии природы и представлениях оппонентов (других агентов). Поэтому весьма важным является вопрос о том, каким образом информационные воздействия центра влияют на эти представления. Иными словами, вопрос состоит в следующем: как формируется информационная структура игры в зависимости от тех или иных информационных воздействий центра.

Так, одним из таких примеров в [3] Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. описывают модель «Биполярный выбор», в которой рассматривается ситуация, когда агенты осуществляют выбор между двумя альтернативами, которые для общности называются позитивным и негативным полюсами. Например: кандидат на выборах (голосовать «за» или «против»), продукт или услуга (покупать или нет), этический выбор (поступить «хорошо» или «плохо») и пр. Авторы выделяют агентов трех типов: первые безусловно выбирают положительный полюс, вторые – выбирают положительный или отрицательный полюс в зависимости от того, как с их точки зрения поведут себя остальные агенты, третьи безусловно выбирают отрицательный полюс.

Далее Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. предполагают, что центр имеет возможность воздействовать на ситуацию и стремится увеличить вероятность позитивного выбора в «популяции» в целом. Для этого центр может повлиять на агентов второй и третьей группы (агенты первой группы и так производят требуемый выбор). Во-первых, центр может повлиять на третью группу, переведя некоторую долю ее членов во вторую и затратив некий ресурс (например, финансовый). Во-вторых, центр может повлиять на вторую группу, изменив представления ее членов о доле агентов третьего типа. В последнем случае влияние состоит в формировании у второй группы следующего представления: «определенная доля членов третьей группы перешла во вторую». Формирование такого представления также требует определенных затрат. Иными словами, центр может изменить либо реальную, либо «фантомную», воображаемую, долю агентов третьего типа. При этом совокупный ресурс (бюджет), которым располагает центр, фиксирован. Задача центра состоит в следующем: распределить фиксированный ресурс на реализацию информационных воздействий таким образом, чтобы доля агентов, осуществивших позитивный выбор, была максимальной. Оказывается, что если ресурса у центра «не очень много», то оптимальным управлением является, в зависимости от соотношения между параметрами, вложить весь этот ресурс либо в реальное, либо в «воображаемое» (происходящее в сознании агентов второго типа) изменение доли агентов третьего типа.

В модели «Продавец и покупатель» [3] Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. отмечают, что продавец и покупатель, имеющие иерархию взаимных представлений о ценности продаваемого товара, должны прийти к соглашению о цене, по которой произойдет сделка купли-продажи. Необходимым условием заключения сделки оказывается следующее: с точки зрения обоих участников субъективные цены всех реальных и фантомных продавцов не превышают субъективных цен каждого из реальных и фантомных покупателей. Наиболее простой структурой информированности, которую следует сформировать у покупателя и продавца для того, чтобы сделка произошла по требуемой для центра цене, является следующая – они должны быть уверены, что для всех их фантомных агентов (покупателя с точки зрения продавца, продавца с точки зрения покупателя и т.д.) ценность товара в точности равна цене, требуемой для центра.

Кроме того, в [3] рассмотрена модель «Производитель и посредник», в которой участвуют агент, являющийся производителем некоторого вида продукции, и центр, выступающий в роли посредника между агентом и рынком. Предполагается, что посредник точно знает рыночную цену, а производитель – нет. Производитель и посредник заранее оговаривают пропорцию, в которой они будут делить доход, затем посредник сообщает производителю информацию (не обязательно достоверную) о рыночной цене, и, наконец, производитель выбирает объем производства. Выбор посредником сообщения о рыночной цене может трактоваться как информационное управление. Стабильным будет такое информационное управление, при котором реальный доход производителя равен тому доходу, на который он и рассчитывал, исходя из сообщения посредника. Оказывается, что, выбирая надлежащим образом информационное управление, посредник обеспечивает себе максимум дохода независимо от пропорции дележа (иными словами, посредник может соглашаться на любую долю,

свой выигрыш он получит в любом случае). Интересно, что при этом в некоторых случаях производитель получает большую прибыль, чем получил бы, если бы посредник сообщал истинное значение цены.

Модель «Распределение ресурса» в [5] описывает ситуацию распределения центром ограниченного ресурса между агентами на основании заявок последних. В силу активности агентов, они способны к искажению информации, и в равновесии часть агентов (так называемые диктаторы) получают оптимальное для себя количество ресурса, а остальные агенты – меньше оптимального. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. предполагают, что агенты имеют иерархию представлений о том, кому из них какое количество ресурса необходимо. Оказывается, что стабильные неадекватные представления могут существовать только относительно агентов, не входящих в число диктаторов. При этом, однако, вектор распределяемых ресурсов оказывается таким же, как и в случае полного знания. В [3] также рассматривается модель «Реклама товара», в которой агент принимает решение о приобретении товара не только в зависимости от собственных предпочтений, но и от того, какая часть других агентов с его точки зрения собирается приобрести товар, или ожидает от него приобретения данного товара. Оказывается, что большинство реальных рекламных кампаний могут быть описаны в рамках модели информационного управления с первым или вторым рангом рефлексии агентов. Также в [5] Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. рассмотрена модель «Предвыборная борьба», в которой информационное управление заключается в убеждении избирателей, поддерживающих определенных кандидатов, что их кандидаты не будут избраны и следует поддержать других кандидатов. Оказывается, что получающееся в итоге такого управления информационное равновесие может быть стабильным, и, более того, – истинным.

В работе [8] Корепанов В.О. и Новиков Д.А. предлагают метод рефлексивных разбиений множества рациональных агентов, осуществляющих совместную деятельность, на подмножества, соответствующие различным рангам их рефлексии. Приведены примеры информационного управления в различных задачах принятия коллективных решений. Анализ примеров, рассмотренных в [8], позволил авторам констатировать, что наличие рефлексивных агентов может изменять групповое поведение самым различным образом. В примере «Задача о консенсусе» введение рефлексивных агентов расширяет множество векторов действий, выбираемых агентами, и приводит к росту значения критерия эффективности. Кроме того в рамках данного примера авторами доказано, что максимальный целесообразный ранг рефлексии равен единице. В примере «Активная экспертиза» [4] наличие рефлексивных агентов даже первого ранга существенно расширяет диапазон возможных результатов экспертизы. Второй ранг рефлексии позволяет реализовать равновесие Нэша. Кроме того, в рамках данного примера отмечено, что наличие рефлексивных агентов может приводить к последствиям, негативным с точки зрения группы в целом. Варьируя число рефлексивных агентов первого ранга от 0 до 10, центр может менять результаты экспертизы. В таком случае центр осуществляя рефлексивное управление, имеет значительные возможности по манипулированию результатами экспертизы. В целом, Корепанов В.О. и Новиков Д.А. [8] отмечают, что в рамках предложенной рефлексивной модели коллективного поведения, агенты любого ранга рефлексии достаточно «интеллектуальны» – они выбирают действия, стремясь максимизировать свои целевые функции. Кроме того, авторы допускают наличие и менее интеллектуальных агентов – агентов-имитаторов, действия которых определяются известной функцией от текущих или прошлых действий других агентов (пример: выбор действия, равного среднему арифметическому действий остальных агентов; или агентов, связанных с данными; или некоторого другого фиксированного агента).

В отдельной работе [9] Корепанов В.О. рассматривает рефлексивную модель коллективного поведения, которая предполагает, что агенты, принадлежащие к некоторому множеству  ${}^0N$  выбирают свои действия в соответствии с гипотезой индикаторного поведения. Модель индикаторного поведения [10, 11] является наиболее распространенной моделью ди-

намики коллективного поведения, суть которой заключается в том, что каждый агент наблюдает действия других агентов, выбранные в предыдущий момент времени. Каждый агент может рассчитывать свое текущее положение цели – такое его действие, которое максимизировало бы его целевую функцию при условии, что все агенты выбрали бы в текущем моменте такие же действия, как в предыдущий момент. В рамках гипотезы индикаторного поведения каждый агент будет делать «шаг» в каждый момент времени от своей предыдущей стратегии к текущему положению цели, обладая агрегированной информацией о действиях других агентов. В рамках рефлексивной модели Корепанова В.О. [9] если агенты обладают нулевым рангом рефлексии (т.е. рефлексии нет  ${}^0N = N$ ), то все агенты пронаблюдают некоторую реализованную ранее траекторию векторов действий агентов. Агент  $j$ , обладающий первым рангом рефлексии ( $j \in {}^1N$ ), считает всех остальных агентов обладающими нулевым рангом рефлексии соответственно своим представлениям и наблюдаемым ранее действиям агентов предсказывает их выбор. Для агента ( $j \in {}^1N$ ) реализованная другими агентами траектория может не совпадать с траекториями, прогнозируемыми как агентами нулевого, так и агентами первого ранга рефлексии. Аналогично описывается поведение агентов 2,3,...,k рангов рефлексии, которые могут прогнозировать поведение своих оппонентов и выбирать наилучшие действия в ответ на сложившуюся обстановку в соответствии со своим субъективным рефлексивным разбиением. Описанная модель названа автором моделью рефлексивных разбиений, в которой вектор действий агентов зависит от представлений агентов друг о друге (субъективных рефлексивных разбиений). Если зафиксировать субъективные разбиения, то вектор можно зафиксировать некоторый общий вектор рефлексивных разбиений действий агентов и изменяя рефлексивное разбиение, можно менять действия агентов, т.е. осуществлять рефлексивное управление. Предложенная в [9] Корепановым В.О. модель эквивалентна модели «когнитивная иерархия», рассмотренной в [12]. В [9] «обычные» агенты (0-step players) выбирают действия случайно, рефлексивное разбиение представляет собой однопараметрическое распределение Пуассона, параметр  $\tau$  есть среднее значение распределения. Соответственно, в рефлексивном разбиении используются доли, а не количества. Агент ранга  $k$  (k-step players) распределяет всех агентов своего ранга и выше по рангам  $0, \dots, k-1$  пропорционально доле агентов соответствующего ранга. Такую модель называют Poisson–СН и она не ставит задачи управления системой. Здесь исследователи пытаются найти такую модель рационального поведения, которая предсказывала бы поведение людей в реальных экспериментах.

Также в работе [5] в качестве примеров коллективного поведения и управления им авторы рассматривают рефлексивное моделирование социальных сетей. Под социальной сетью на качественном уровне понимается социальная структура, состоящая из множества элементов сети или агентов (субъектов – индивидуальных или коллективных, например, индивидов, семей, групп, организаций) и определенного на нем множества отношений (совокупности связей между агентами, например, знакомства, дружбы, сотрудничества, коммуникации). Формально социальная сеть представляется в виде графа, отражающих взаимодействие агентов. При моделировании социальных сетей авторы часто исходят из предположения о том, что основная характеристика его элемента (его мнение по какому-либо вопросу, «зараженность» чем-либо в моделях распространения эпидемий и т.п.) меняется по некоторому заданному закону исходя из характеристик «соседних» элементов. В таких моделях элемент сети является, по сути, *пассивным*. Многочисленные модели информационного управления мнениями, репутацией и доверием пассивных элементов социальных сетей описаны в [13]. Реже встречаются модели, где элемент сети сам выбирает характеристику (например, действие или бездействие) исходя из своих возможностей и интересов. В таких моделях элемент сети является *активным*, т. е. обладает своими интересами (например, формализованными в виде целевой функции) и свободой выбора. В [5] рассматривается пример комплексной модели

Федянина Д.Н. и Чхартишвили А.Г. [14], в которой учитывается как пассивный, так и активный аспекты поведения элементов социальной сети. Каждый такой элемент (агент) характеризуется некоторым параметром (типом)  $r_i \in (0;1)$ , целевой функцией  $f_i$  и выбирает действие  $x_i$  ( $x_i$  – неотрицательное действительное число). Содержательная интерпретация следующая: агенты прикладывают усилия  $x_i$  к некоторому совместному действию, которое окажется успешным (дает положительный вклад в целевые функции агентов) в случае, если сумма усилий превышает некоторый порог, который принимается равным единице. Если действие оказалось успешным, то выигрыш агента тем больше, чем больше его усилие. С другой стороны, само по себе усилие агента вносит в его целевую функцию отрицательный вклад, который зависит от типа  $r_i$  – чем больше тип, тем «легче» агенту прикладывать усилие (например, это может быть психологически объяснено большей лояльностью, склонностью агента к совместному действию). Кроме того, каждый агент может меняться под влиянием других агентов и на него может оказывать влияние управляющий орган – центр. Задача информационного управления центра в таком случае сводится к определению желательных типов агентов (нахождение множества состояний сети (наборов типов агентов), при которых его целевая функция достигает максимального значения) и/или выбор оптимального воздействия на типы агентов. В последнем случае рассматриваются возможности центра по осуществлению управления посредством изменения начальных мнений (типов) агента. Здесь центр заинтересован в уменьшении мнений агентов, поэтому рассматриваются только воздействия, уменьшающие типы.

Модель управления толпой Новиков Д.А. и Чхартишвили А.Г. в [5] аналогично [15] рассматривают модель толпы как некоторое множество  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  агентов, каждый из которых выбирает одно из двух решений – «1» (действовать, например, принимать участие в беспорядках) или «0» (бездействовать). Агент  $i \in N$  характеризуется, во-первых, своим влиянием на другого агента  $t_{ji} \geq 0$  – тем «весом» с которым к его мнению прислушивается или его действия учитывает другой агент  $j$ . Во-вторых – своим решением  $x_i \in \{0;1\}$ . В-третьих – своим порогом  $\theta_i \in [0;1]$ , определяющим, будет ли агент действовать при той или иной обстановке (векторе  $x_{-i}$  решений всех остальных агентов). Формально, действие  $x_i$   $i$ -го агента определяется как наилучший ответ (BR – best response) на сложившуюся обстановку:

В [16] предложена модель динамики коллективного поведения: в начальный момент времени все агенты бездействуют, далее в каждый из последующих моментов времени агенты одновременно и независимо действуют. В модели в качестве основных параметров выделены матрица влияний агентов  $T = \{t_{ij}\}$  и вектор их порогов  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ . В [15] доказано, что для любых матриц влияния  $T$  и порогов агентов  $q$  равновесие коллективного поведения существует, единственно и является одним из равновесий Нэша для игры с наилучшим ответом. В случае отсутствия агентов с нулевыми порогами бездействие всех агентов является равновесием коллективного поведения. С точки зрения управления этот факт означает, что, в первую очередь, следует обращать внимание на «зачинщиков» – агентов, принимающих решение «действовать» даже когда остальные бездействуют.

В [5] по аналогии с работой [16] рассмотрена модель динамики коллективного поведения: в начальный момент времени все агенты бездействуют, далее в каждый из последующих моментов времени агенты одновременно и независимо действуют. Для решения задач управления в [5] выделены следующие параметры: число действующих агентов, вектора начальных значений матриц влияния и порогов агентов, выигрыш управляющего органа – центра – от достигнутого состояния толпы и его затраты на изменение репутаций и порогов агентов. В качестве критерия эффективности управления здесь выбрано значение целевой функции центра, равной разности между выигрышем и затратами, который стремится к своему максимальному значению. Кроме того, Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. в [5] рассмот-



рели возможность информационного управления, в котором центр воздействует на представления агентов о параметрах друг друга, на представления о представлениях и т.д. В качестве предмета управления в модели управления толпой выбраны представления о порогах агентов. Информационным управлением выступает формирование у агентов структур информированности вида:  $\theta_{ij}$  – представления  $i$ -го агента о пороге  $j$ -го (структура информированности второго ранга или глубины два);  $\theta_{ijk}$  – представления  $i$ -го агента о представлениях  $j$ -го агента о пороге  $k$ -го агента (структура информированности третьего ранга или глубины три) и т.д. Обладая той или иной структурой информированности, агенты выбирают действия, являющиеся информационным равновесием, в котором каждый агент выбирает свои действия как наилучший ответ на те действия, которые в рамках его представлений должны выбрать оппоненты. Таким образом, можно условно считать, что любой результат, достижимый за счет реального изменения порогов, может быть по аналогии реализован информационным управлением (изменением представлений агентов о порогах друг друга). С этой точки зрения информационное управление порогами эквивалентно просто управлению порогами [15]. Однако при реализации информационного управления в задачах управления поведением толпы существует одна проблема. Одним из свойств «хорошего» информационного управления является его стабильность – свойство, заключающееся в том, что все агенты наблюдают в реальности те результаты, которых ожидали.

Таким образом, в [5] рассмотрена обобщенная модель рефлексивного управления поведением толпы. На сегодняшний день известен ряд прикладных моделей, иллюстрирующих эффекты стратегической рефлексии в моделях группового поведения. В [5] кратко перечислены основные результаты применения рефлексивных моделей, которые свидетельствуют, что наличие рефлексии агентов может изменять групповое поведение существенным образом. Среди таких моделей можно выделить описанную ранее модель «активная экспертиза». Здесь наличие рефлексии агентов даже первого ранга существенно расширяет диапазон возможных результатов экспертизы, которыми может манипулировать ее организатор, т. е. наличие рефлексии агентов может приводить к последствиям, негативным, условно говоря, с точки зрения группы в целом. Второй ранг рефлексии позволяет реализовать равновесие Нэша. В модели «Диффузная бомба» [5] введение рефлексии («интеллектуальных», адаптивных, прогнозирующих поведение оппонентов) агентов позволяет существенно повысить эффективность группового поведения. Модель «Рефлексивная игра полковника Блотто» [8] свидетельствует, что рефлексивная «надстройка» над классической теоретико-игровой задачей (игра полковника Блотто) расширяет множество «равновесных» исходов, но, как свидетельствуют результаты имитационного моделирования, может требовать очень высоких рангов рефлексии участников. Модель «Олигополия Курно» [5] в качестве базовой используется классическая модель олигополии и демонстрирует, что при определенном диапазоне значений начальных действий агентов можно реализовать эффективные по Парето или равновесные по Нэшу уровни производства или увеличить суммарный объем производства за счет введения определенного числа агентов первого и второго рангов рефлексии. Аналогично в модели «Задача о консенсусе» [5]. Содержательная интерпретация которой следующая: действиям агентов соответствуют их положения на прямой, агрегированной ситуации – среднее значение координат агентов. Целевой функцией агента является его «отклонение» от агрегированной ситуации, а критерием эффективности – «дисперсия» положений агентов (в данном примере целевая функция центра зависит не только от агрегированной ситуации игры, но и от всего вектора действий агентов). В этом случае введение рефлексии агентов расширяет множество векторов действий, которые могут выбрать агенты, и приводит к росту значения критерия эффективности. В модели «Транспортные потоки и эвакуация» [5] наличие рефлексии агентов первого ранга позволяет достичь минимального (оптимального с «централизованной» точки зрения) времени эвакуации из здания группы агентов, принимающих решения децентрализованно и можно найти описание

имитационных моделей транспортных потоков и эвакуации, учитывающих рефлексию агентов. Для модели «Фондовый рынок» в [5] показано, что изменить рыночную цену может только определенная «критическая масса» рефлексивных агентов.

В работе [17] рассмотрено моделирование многоэтапного процесса принятия решений при помощи теории рефлексивных игр в группе. Автором представлены схемы двухэтапного и многоэтапного процессов принятия решений. На первом этапе осуществляется принятие промежуточных решений в отношении характеристик процесса принятия окончательного решения. Промежуточные решения принимаются на предварительных сессиях, а окончательное решение – на финальной сессии. Показано, как перед принятием окончательного решения могут приниматься промежуточные решения, которые формируют взаимные влияния субъектов друг на друга, а также и на саму структуру группы. Данный подход позволяет моделировать процессы принятия решений, которые требуют принимать как последовательные, так и параллельные (одновременные) решения. Важной особенностью многоэтапного процесса принятия решений является то, что субъект может убедить остальных субъектов в своей точке зрения, а все остальные участники группы добровольно принимают решения, выгодные определенному субъекту. Такой подход позволяет также распространить ответственность за принятое решение на всю группу, а не на одного конкретного субъекта. Результаты представленные в работе [5] позволяют расширить область применения теории рефлексивных игр для моделирования многоэтапных управленческих процессов. Таким образом, становится возможным проведение сценарного анализа различных вариантов развития событий и осуществление рефлексивного управления в рамках проектов. В работе [18] Тарасенко С.С. рассматривает способ моделирования социальной динамики при помощи теории рефлексивных игр, многошаговых процессов принятия решений и теории марковских процессов. В результате применения данного подхода становится возможным смоделировать асимптотическое поведение группы рефлексивных субъектов. Такая модель описания коллективного поведения в рамках теории социальной динамики в [5] определяется как рефлексивный марковский процесс. В работе показано, что первоначальная группа из 3-х субъектов после неограниченного числа повторений сессий принятия решений перейдет в сбалансированную группу. Данный результат находится в соответствии с предпосылками теории социального баланса.

Элементы приведенных выше рефлексивных моделей для использования в моделировании процессов рефлексивного управления стадным поведением на предприятиях являются достаточно актуальными для использования, т.к. описывают похожие с проявлением стадного поведения процессы. Отдельные элементы и функции рассмотренных выше моделей могут быть использованы в процессе построения моделей рефлексивного управления процессами проявления стадного поведения на предприятиях. Особенно это относится к моделям, описывающим поведение агентов в социальных сетях и модели динамики коллективного поведения. Аналогично, в процессе проявления стадности на предприятиях, обладая той или иной структурой информированности, агенты выбирают действия, являющиеся информационным равновесием. При этом каждый агент выбирает свои действия как наилучший ответ на те действия, которые в рамках его представлений должны выбрать оппоненты. Следует отметить, что на предприятиях также возможно многоэтапное принятие решений. В таком случае субъект может убедить остальных субъектов в своей точке зрения, а все остальные участники группы добровольно принимают решения, выгодные определенному субъекту. Такой подход позволяет также распространить ответственность за принятое решение на всю группу, а не на одного конкретного субъекта. В таком случае моделирование рефлексивных процессов управления стадностью возможно аналогично моделированию многоэтапного процесса принятия решений при помощи теории рефлексивных игр в группе.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, исследователи рассматривают широкий спектр рефлексивных моделей коллективного поведения. Рефлексивное представление основных параметров таких моделей позволяет описывать поведение агентов и эффективно управлять ими. Однако, с целью решения задач моделирования управления стадным поведением на предприятиях описанные рефлексивные модели принятия решений требуют адаптации с учетом специфики предметной области изучения стадного поведения. В рамках моделирования механизма рефлексивного управления стадным поведением на предприятиях, необходимо такое формализованное представление функций рефлексивного выбора агентов управления, которое в полной мере отражало бы исследуемые характеристики и как следствие – адекватно отражало бы состояния агентов управления в процессе принятия решений на предприятиях до и после управляющих воздействий со стороны центра. Проведенный анализ подходов к построению рефлексивных моделей принятия решений для использования в моделировании процессов рефлексивного управления стадным поведением на предприятиях показал возможность использование отдельных элементов приведенных моделей с необходимостью их адаптации к предметной области. Перспективным направлением исследования является разработка рефлексивных моделей управления процессами проявления стадного поведения на предприятиях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лефевр В.А. Алгебра конфликта / В.А. Лефевр, Г.Л. Смолян. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 50 с.
2. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. Издание второе, переработанное и дополненное. – М.: Изд-во «Советское радио», 1973. – 158 с.
3. Новиков Д.А. Прикладные модели информационного управления / Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили. – М.: ИПУ РАН, 2004. – 129 с.
4. Новиков Д.А. Рефлексивные игры / Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили. – М.: Синтез., 2003. – 149 с.
5. Новиков Д.А. Рефлексия и управление: математические модели / Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2013. – 412 с.
6. Чхартишвили А.Г. Теоретико-игровые модели информационного управления / А. Г. Чхартишвили. – М.: ЗАО «ПМСОФТ», 2004. – 227 с.
7. Губко М.В. Теория игр в управлении организационными системами / М.В. Губко, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2002. – 148 с.
8. Корепанов В.О. Метод рефлексивных разбиений в моделях группового поведения и управления / В.О. Корепанов, Д.А. Новиков // Проблемы управления. – 2011. – № 1. – С. 21–32.
9. Корепанов В.О. Модели рефлексивного группового поведения и управления / В.О. Корепанов. – М.: ИПУ РАН, 2011. – 127 с.
10. Малишевский А.В. Качественные модели в теории сложных систем / А.В. Малишевский. – М.: Наука, 1998.
11. Опоицев В.И. Равновесие и устойчивость в моделях коллективного поведения / В.И. Опоицев. – М.: Наука, 1977.
12. Camerer C.F., Ho T.-H., Chong J.-K. A Cognitive Hierarchy Theory of Games. *Quarterly Journal of Economics*. – 119(3). – 861–989. – 2004.
13. Губанов Д.А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: Физматлит, 2010. – 228 с.
14. Федянин Д.Н. Об одной модели информационного управления в социальных сетях / Д.Н. Федянин, А.Г. Чхартишвили // Управление большими системами. – 2010. – № 31. – С. 265–275.
15. Бреер В.В. Модели управления толпой / В.В. Бреер, Д.А. Новиков // Проблемы управления. – 2012. – № 2. – С. 38–44.
16. Бреер В.В. Теоретико-игровые модели конформного коллективного поведения / В. В. Бреер // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 10. – С. 111–126.
17. Тарасенко С. С. Моделирование многоэтапного процесса принятия решений при помощи теории рефлексивных игр / С. С. Тарасенко // Рефлексивные процессы и управление. Том 10. – «Когито-Центр», 2010. – № 1–2. – С. 93–101.
18. Тарасенко С.С. Асимптотическое поведение группы рефлексивных субъектов / С.С. Тарасенко // Рефлексивный театр ситуационного центра-2011 / Материалы 5-ой Всероссийской конференции с международным участием РТСЦ-2011 / Под науч. ред. В. А. Филимонова / Омск: Омский государственный институт сервиса, 2012. – С. 63–68.