

**Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН**

УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ

Выпуск 51
Сентябрь 2014

**СБОРНИК
ТРУДОВ**

ISSN 1819-2467

Регистрационный номер Эл. №ФС77-44158 от 09 марта 2011 г.

Москва – 2014

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова

**УПРАВЛЕНИЕ
БОЛЬШИМИ
СИСТЕМАМИ**

СБОРНИК ТРУДОВ

Выпуск 51

Москва – 2014

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Академики РАН: Васильев С.Н., Емельянов С.В., Куржанский А.Б., Федосов Е.А., Черноусько Ф.Л.; члены-корреспонденты РАН: Желтов С.Ю., Каляев И.А., Пархоменко П.П., Попков Ю.С.; д-ра техн. наук: Дорофеюк А.А., Кузнецов О.П., Кульба В.В., Кротов В.Ф., Лотоцкий В.А., Павлов Б.В., Поляк Б.Т., Рутковский В.Ю.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: член-корр. РАН Новиков Д.А. **Отв. секретарь:** канд. техн. наук Губко М.В. **Редактор:** канд. техн. наук Квинто Я.И. **Техн. редактор:** канд. техн. наук Куливец С.Г.

Д-ра техн. наук: проф. Алескеров Ф.Т. (ГУ ВШЭ), проф. Артамонов Е.И. (ИПУ РАН), д-р экон. наук, проф. Архипова М.Ю. (ИПИ РАН), д-ра техн. наук: проф. Афанасьев В.Н. (МИЭМ), проф. Бахтадзе Н.Н. (ИПУ РАН), проф. Бурков В.Н. (ИПУ РАН), проф. Вишневский В.М. (ИППИ РАН), д-р экон. наук, проф. Голиченко О.Г. (ЦЭМИ РАН), д-р физ.-мат. наук, проф. Добровидов А.В. (ИПУ РАН), д-ра техн. наук: проф. Заложнев А.Ю. (ИПУ РАН), проф. Ириков В.А. (МФТИ), проф. Калянов Г.Н. (ИПУ РАН), проф. Касаткин С.И. (ИПУ РАН), проф. Каравай М.Ф. (ИПУ РАН), д-р экон. наук, проф. Клочков В.В. (ИПУ РАН), д-ра техн. наук: проф. Кононенко А.Ф. (ВЦ РАН), проф. Курдюков А.П. (ИПУ РАН), проф. Лебедев В.Г. (ИПУ РАН), к-т техн. наук, доцент Лебедев В.Н. (ИПУ РАН), д-р экон. наук, проф. Ловчиновский Э.В. (ИПУ РАН), д-р техн. наук, проф. Мандель А.С. (ИПУ РАН), д-р физ.-мат. наук, проф. Непейвода Н.Н. (ИПС РАН), д-р экон. наук, проф. Нижегородцев Р.М. (ИПУ РАН), д-ра техн. наук: проф. Новосельцев В.Н. (ИПУ РАН), проф. Орлов А.И. (МВТУ), д-р физ.-мат. наук, проф. Рапопорт Л.Б. (ИПУ РАН), д-р экон. наук, проф. Секерин В.Д. (ИПУ РАН), д-ра техн. наук: проф. Сидельников Ю.В. (МАИ), проф. Совлуков А.С. (ИПУ РАН), д-р экон. наук, проф. Сухарев О.С. (Ин-т экономики РАН), д-ра техн. наук: проф. Уткин В.А. (ИПУ РАН), проф. Хоботов Е.Н. (МВТУ), д-ра физ.-мат. наук: доцент Чеботарев П.Ю. (ИПУ РАН), проф. Чхартишвили А.Г. (ИПУ РАН), проф. Щербаков П.С. (ИПУ РАН).

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РЕДАКЦИОННЫЕ СОВЕТЫ

Волгоград – д-ра физ.-мат. наук: проф. Воронин А.А., проф. Лосев А.Г. (ВолГУ); **Воронеж** – д-р техн. наук, проф. Баркалов С.А., д-р физ.-мат. наук, проф. Головинский П.А. (ВГАСУ), д-р техн. наук, проф. Подвальный С.Л. (ВГТУ); **Иркутск** – академик РАН Бычков И.В., проф. Лакеев А.В. (ИДСТУ СО РАН); **Казань** – д-р физ.-мат. наук, проф. Маликов А.И., д-р техн. наук, проф. Сиразетдинов Р.Т. (КГТУ-КАИ); **Липецк** – д-ра техн. наук: проф. Кузнецов Л.А., проф. Погодаев А.К. (ЛГТУ); **Самара** – д-ра экон. наук: проф. Богатырев В.Д., проф. Гераскин М.И., д-р техн. наук, проф. Засканов В.Г. (СГАУ); **Петрозаводск** – д-р физ.-мат. наук, проф. Мазалов В.В., д-р техн. наук, доц. Печников А.А. (ИПМИ КарНЦ РАН); **Санкт-Петербург** – д-ра физ.-мат. наук: проф. Петросян Л.А. (СПбГУ), проф. Фрадков А.Л. (ИПМ РАН); **Старый Оскол** – д-р техн. наук, проф. Еременко Ю.И. (СТИ); **Тверь** – д-ра техн. наук: проф. Кузнецов В.Н., проф. Палюх Б.В. (ТГТУ).

Адрес редакции: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.

Адрес в Интернет: ubs.mtas.ru.

Номер гос. регистрации электронного научного издания (ЭНИ): 0421200023.

© ИПУ РАН, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Системный анализ

Корноушенко Е. К.

Целенаправленное управление состоянием когнитивной линейной модели с ограниченным множеством состояний 6

**Сидельников Ю. В., Шалышкин М. И.,
Шевыренков М. Ю.**

Обзор зарубежных сценарных прогнозов и формайтов: инструменты информационного управления 26

Информационные технологии в управлении

Подлазов В. С.

Повышение характеристик многомерных торгов 60

Сетевые модели в управлении

Губанов Д. А., Микулич Л. И., Наумкина Т. С.

Использование языковых игр для исследования социальных сетей на примере поиска сообществ и влиятельных агентов..... 82

Управление в социально-экономических системах

Акинфиев В. К.

Выбор инвестиционных стратегий компаний в условиях нестабильности рынков..... 107

Искаков М. Б., Искаков А. Б.

Равновесие, сдерживаемое контругрозами, и сложное равновесие в безопасных стратегиях 130

Усков А. А., Киселев И. А.

Оценка показателей эффективности инвестиционных проектов при использовании заёмных средств в нечётких условиях 158

Управление подвижными объектами и навигация

Кулинич А. А.

Модель командного поведения агентов (роботов):

когнитивный подход

174

УДК 519.7
ББК 32.81

ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ КОГНИТИВНОЙ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ С ОГРАНИЧЕННЫМ МНОЖЕСТВОМ СОСТОЯНИЙ

Корноушенко Е. К.¹

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

Исходным понятием данной работы является когнитивная карта, по которой строится когнитивная линейная модель с ограниченным множеством состояний. Рассматривается задача перевода такой модели из произвольного начального состояния в асимптотически устойчивое состояние, принадлежащее окрестности некоторого заданного состояния. Для решения этой задачи вводятся два класса управлений. «Качество» перевода определяется близостью результирующего устойчивого состояния к заданному состоянию. Приводится показательный пример.

Ключевые слова: когнитивная карта, когнитивная модель, целевые факторы, согласованность факторов.

1. Введение

Следуя работе [4], под термином «когнитивная модель» будем понимать динамическую модель, построенную на основе когнитивной карты (понятие «когнитивная карта» является исходным в когнитивном подходе к моделированию систем). Несмотря на огромное количество работ по когнитивным картам

¹ Евгений Константинович Корноушенко, доктор технических наук, старший научный сотрудник (ekorno@mail.ru).

и когнитивным моделям, актуальной остается проработка вопросов управления когнитивными моделями [1, 4]. Одной из первых работ в этом направлении можно считать работу [4]: в ней выделен класс управленческих задач, для решения которых целесообразно применение когнитивного моделирования, и на примере «когнитивной игры» показаны возможные направления их решения.

Когнитивная карта (КК) строится в терминах понятий (концептов, факторов) моделируемой ситуации, при этом для отображения состояний факторов используется совокупность соответствующих лингвистических переменных. Влияния фактора на фактор также определяются с использованием лингвистических переменных, указывающих характер и силу влияния. Построение КК производится с учетом обязательного требования предметной интерпретируемости вводимых в КК связей между факторами. Наличие такого требования отличает КК от абстрактного ориентированного взвешенного графа. Для построения по КК когнитивной модели вербальные состояния факторов отображаются в числовые из интервала $[0, 1]$ (или $[-1, 1]$), а вербальные представления влияний – в числа из интервала $[-1, 1]$. Для каждого фактора выписывается динамическое уравнение, в структуре которого отражены прямые влияния на данный фактор других факторов, а также факторов «внешней среды». Совокупность таких уравнений для всех факторов КК представляет когнитивную модель исследуемой ситуации. При этом когнитивная модель имеет ограниченное множество состояний в силу того, что множеством значений каждого фактора в такой модели является интервал $[0, 1]$ (или $[-1, 1]$).

В настоящей работе рассматривается проблема целенаправленного управления линейной когнитивной моделью с ограниченным множеством состояний. Исходная задача состоит в том, чтобы перевести когнитивную модель из произвольного начального состояния в некоторое асимптотически устойчивое (а.у.) состояние, принадлежащее окрестности заданного состояния, и оценить «качество» такого перевода через «близость» (по критерию, задаваемому пользователем) результирующего а.у. состоя-

ния к заданному состоянию. При решении этой задачи должны учитываться и ограниченность множества состояний когнитивной модели, и вводимые ограничения на управления, связанные с предметной интерпретируемостью допустимых управлений. Перевод когнитивной модели в устойчивое состояние весьма важен в ряде практических задач (например, в задаче переопределения весов при обучении когнитивной модели [9], при использовании когнитивной модели как управляющего устройства для некоторой системы (или ситуации) [6], при проведении социо-медицинских исследований с использованием когнитивного подхода [10], в работах по управлению сетевыми моделями [7] и т.д.). В [4] отмечается важность аналитического нахождения требуемых управлений и анализа устойчивых состояний как условий равновесия разнонаправленных тенденций в исследуемой системе.

В данной работе вводятся два класса предметно интерпретируемых управлений, с использованием которых решается исходная задача. Важно подчеркнуть, что искомая совокупность управлений находится с использованием обыкновенного метода наименьших квадратов (ordinary least squares). Обсуждается зависимость «качества» решения исходной задачи от структуры КМ и параметров, влияющих на это «качество». Приводимый в конце работы пример можно рассматривать как разновидность «когнитивной игры» двух лиц с противоположными интересами. Получаемое устойчивое состояние КМ иллюстрирует баланс интересов (консенсус) противодействующих лиц.

2. Исходные определения и постановка задачи

Пусть для моделируемой ситуации составлена КК. Далее для удобства будем интерпретировать КК как взвешенный ориентированный граф $G_{КК}$. Количественные представления состояний факторов в интервале $[0, 1]$ будем называть **значениями** факторов, а **весами** – аналогичные представления влияний в интервале $[-1, 1]$. Структуру графа $G_{КК}$ удобно представить в виде композиции узлов. **Узлом** [5] называется всякий

подграф $G_{уз}$ в $G_{КК}$, содержащий так называемый **выходной** фактор в $G_{уз}$ и полную совокупность **входных** факторов в $G_{уз}$, от каждого из которых идет направленная дуга с соответствующим весом к выходному фактору. Взвешенная сумма влияний, поступающих от входных факторов узла на его выходной фактор, называется **агрегированной функцией** [5] узла. Выходной фактор узла может оказаться входным фактором для других узлов, так что $G_{КК}$ является объединением (пересекающихся) узлов. В терминах значений факторов и весов для каждого выходного фактора узла составляется временное уравнение, описывающее поведение данного фактора в зависимости от поведения влияющих на него входных факторов и независимых факторов «внешней среды» (т.е. факторов, не имеющих входных дуг). Для простоты рассматривается дискретное время, так что временное уравнение для фактора x_i имеет вид:

$$(1) \quad x_i(t+1) = f_i\left(\sum_{j=1}^n w_{ji}x_j(t) + e_i(t)\right), \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 0, 1, 2, \dots$$

Здесь w_{ji} – постоянный вес на дуге от фактора x_j к x_i ; $e_i(t)$ – значение фактора e_i «внешней среды», непосредственно влияющего на x_i в момент t ; t – дискретное время, а n – число зависимых факторов, являющихся выходными факторами узлов в $G_{КК}$ (так что n – размерность вектора состояния КМ). Далее под **когнитивной моделью** (КМ) будем понимать совокупность уравнений (1). При этом корректность использования термина «значение фактора» при анализе динамики КМ обеспечивается требованием, чтобы значения каждой функции f_i в процессе моделирования не выходили из интервала $[0, 1]$. Для выполнения этого требования выходной фактор каждого узла G_i «пропускается» через функцию f_i с множеством значений $[0, 1]$. Чаше всего в роли f_i используются сигмоидные функции [8]. В данной работе будем считать, что каждая f_i является тождественной функцией в интервале $[0, 1]$ и имеет два уровня «насыщения» 0 и 1. Каждая f_i реализует, таким образом, соответствующее отображение $f_i: (-\infty, \infty) \rightarrow [0, 1]$. При этом совокупность уравнений

(1) представляет нелинейную количественную модель, определенную в неотрицательном единичном кубе $K = [0, 1]^n$.

Задача, решаемая в настоящей работе, выглядит следующим образом. Считаем, что о состоянии КМ пользователь судит прежде всего по некоторой совокупности так называемых целевых факторов, число которых меньше n (о выборе целевых факторов будет сказано ниже). Пусть КМ находится в некотором начальном состоянии $X(0) \in K$, которое «не удовлетворяет» пользователя. Пользователь «желает», чтобы КМ оказалась в некотором состоянии¹ $X_{зад}$ с «приемлемыми» значениями выбранных целевых факторов и при сохраняющихся условиях «внешней среды» оставалась в нем бесконечно долго². Поскольку значения целевых факторов не определяют однозначно «приемлемое» состояние КМ, а состояние $X_{зад}$ в общем случае не является устойчивым, задача состоит в том, чтобы перевести КМ из состояния $X(0)$ в какое-либо а.у. состояние X^* , принадлежащее некоторой окрестности состояния $X_{зад}$, и оценить качество подобного перевода по отклонениям значений целевых факторов в состоянии X^* от аналогичных значений в состоянии $X_{зад}$.

3. Используемые ограничения

Допущение 1.

а) Считаем, что внутри куба K КМ представима в стандартном линейном виде $X(t+1) = WX(t) + BE(t)$, где матрица весов W есть матрица смежности подграфа G_W , вершины которого соответствуют координатам вектора состояний КМ, а дуги и

¹ Заданное состояние $X_{зад}$ включает «желательные» значения целевых факторов и конкретные значения остальных факторов. В принципе, если пользователь знает исследуемую ситуацию, он не будет значения остальных факторов брать «с потолка», а назначит их с учетом предполагаемых связей этих факторов с целевыми факторами.

² Другими словами, «желательное» состояние должно быть устойчивым.

веса те же, что и в G_{KK} (о матрице B сказано ниже). При этом полагаем, что матрица W является а.у. матрицей, т.е. все её собственные значения находятся внутри окружности единичного радиуса в комплексной плоскости. Матрица B есть $(0, 1)$ -матрица, её ненулевые элементы указывают, в какие уравнения КМ входят факторы «внешней среды».

б) Координаты вектора E внешних воздействий на КМ суть некоторые постоянные значения (в интервале $[0, 1]$), причем при некотором известном E внутри¹ куба K существует а.у. равновесное состояние (РС) $X^0(E)$ ².

в) С целью изменения динамики КМ в некоторые (но не во все) уравнения КМ вводятся управления. Каждое управление как независимая³ переменная входит аддитивно в то или иное единственное уравнение КМ. При этом в каждое уравнение могут входить несколько управлений.

г) Пусть m – число уравнений с управлениями, тогда $m < n$.

Обозначим через $S_0(E)$ множество начальных состояний внутри куба K , при которых траектории КМ, начинающиеся в множестве $S_0(E)$, целиком находятся внутри куба K и асимптотически стремятся к $X^0(E)$ (в соответствии с допущением 1б) не зависимо от выбора начального состояния $X(0)$ из $S_0(E)$. Пусть теперь $X(0) \notin S_0(E)$. В силу того, что а.у. РС $X^*(E)$ находится внутри куба K , текущее состояние $X(t)$ при некотором t' войдет в «область притяжения» РС $X^0(E)$, в которой $X(t')$ уже принадлежит множеству $S_0(E)$. Но теперь $X(t')$ можно рассматривать как

¹ Нахождение РС $X^0(E)$ внутри куба K принципиально важно, поскольку в КМ как в нелинейно системе с ограничениями РС $X^0(E)$ может находиться на одной из граней куба K , что существенно усложнит последующее рассмотрение.

² Поскольку координаты вектора E как параметры входят во все последующие выкладки, эта зависимость того или иного РС от E подразумевается там, где не требуется специального объяснения.

³ Имеется в виду независимость значения управления от значений факторов и внешних воздействий.

некоторое начальное состояние для траектории, начинающейся в $X(t')$ и целиком находящейся внутри куба K . Поскольку стремление к $X^0(E)$ справедливо для любого состояния из $S_0(E)$, допущение 1б остается справедливым и при наличии ограничений на значения координат вектора состояния.

Замечание 1. Поскольку исходная задача ставится в асимптотической постановке, для простоты изложения считаем, что интервалом наблюдения является множество чисел $0, 1, 2, \dots$

4. Определение понятия согласованности факторов

Обозначим через $Z = (z_1, \dots, z_m)$ задаваемую пользователем совокупности **целевых** факторов, изменения которых (в первую очередь) интересуют пользователя. «Благоприятность» (или «неблагоприятность») изменения значений каждого из целевых факторов определяется заданием знакового вектора $S = (s_1, \dots, s_n)$ «желательных» направлений изменения этих факторов. Изначально для каждого фактора z_i указывается знак s_i его «желательного» изменения: «+», если желательно увеличение его значения, и «-» в противном случае¹. Выбор целевых факторов определяется требованием их согласованности, раскрываемым ниже.

Определим транзитивное замыкание $Q(W)$ для матрицы W :

$$Q(W) = \sum_{k=0}^{\infty} W^k .$$

В силу а.у. матрицы W (ограничение 1а) ряд по степеням W сходится, так что $Q(W)$ является квадратной матрицей порядка n . Заменяем все элементы матрицы $Q(W)$ с модулями меньшими α нулями, результирующую матрицу обозначим как $Q_\alpha(W)$ и

¹ Считаем, что пользователь является «арбитром», способным указать знаки желательных изменений для каждого из целевых факторов в каждом из рассматриваемых сценариев функционирования КМ.

назовем **срезом** матрицы $Q(W)$ **по уровню** α . Целевой фактор z_i назовем **несогласованным** с фактором z_j , если справедливо

$$s_i * s_j \neq s(q_{ij}^\alpha),$$

где $*$ – обычное умножение, а q_{ij}^α – (i, j) -й элемент матрицы $Q_\alpha(W)$. Совокупность Z целевых факторов назовем **согласованной**, если все факторов в ней не являются попарно несогласованными. Очевидно, совокупность Z будет согласованной (по срезу α) при выполнении условия

$$(2) \quad \forall i, j = 1, \dots, m (q_{ij}^\alpha \neq 0, q_{ji}^\alpha \neq 0 \rightarrow s(q_{ij}^\alpha) = s(q_{ji}^\alpha) \wedge s_i * s_j = s(q_{ij}^\alpha)).$$

Понятие согласованности целевых факторов согласно (2) далее активно используется при выборе управлений для решения сформулированной выше исходной задачи.

Пусть $X_{зад}$ – некоторое заданное состояние, а КМ находится в произвольном начальном состоянии внутри куба K . Как сказано выше, задача состоит в том, чтобы найти совокупность управлений, переводящих КМ в какое-либо а.у. состояние $X^*(E)$ из окрестности состояния $X_{зад}$, и оценить «качество» произведенного перевода по отношению к совокупности $Z = (z_1, \dots, z_r)$ целевых факторов по формуле

$$(3) \quad R(X_{зад}, X^*(E) | Z) = \sum_{p=1}^m |z_p^{зад} - z_p^*|,$$

где $z_p^{зад}$ и z_p^* – p -е координаты векторов целевых координат в $X_{зад}$ и в X^* соответственно. «Качество» решения этой задачи свяжем с величиной показателя $R(X_{зад}, X^*(E) | Z)$, областью значений которого является интервал $[0, m]$. Пользователю желательно, чтобы значения показателя R были по возможности меньшими. Выполнение следующих условий ведет к уменьшению показателя R :

1) При фиксированных $X_{зад}$ и X^* значение R пропорционально степени согласованности целевых факторов, т.е. числу попарно согласованных факторов из Z . Таким образом, желательно, чтобы выбираемая совокупность Z была согласованной (по заданному срезу на уровне α).

2) Согласно допущению 1в управления u , характеризующиеся

соответствующими знаком $s(u)$ и величиной $|u|$, входят как независимые аддитивные добавки в те или иные уравнения КМ. Управление u_i назовем **согласованным с целевым фактором** z_j , если $s(u_i) * s_j = s(q_{ij}^a)$. Аналогично, управление u_i назовем **согласованным с совокупностью** Z , если оно согласовано с каждым фактором из Z , что возможно лишь тогда, когда Z является согласованной совокупностью. Таким образом, желательно, чтобы выбираемые управления были согласованы с совокупностью Z .

Замечание 2. Отметим, что в условия 1–2 согласованности входят лишь знаки, но не значения соответствующих факторов.

5. Два класса управлений для решения исходной задачи

Введем понятия управляющего и управляемого факторов. Фактор x_k назовем **управляющим**, если возможно определенное направление Δx_k его изменения, при котором управление u такое, что $s(u) = s(\Delta x_k)$, будет согласовано с совокупностью Z . Если это управление входит в уравнение для i -го фактора x_i , то x_i называется **управляемым** фактором. Ниже рассматриваются два класса управлений – квазинезависимые и квазиструктурные – используемые для решения исходной задачи.

5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И НАХОЖДЕНИЕ КВАЗИНЕЗАВИСИМЫХ УПРАВЛЕНИЙ

Квазинезависимое управление (КНУ) u_i , входящее в уравнение (1) для фактора x_i , определяется как $u_i = u_{ki} x_k^{зад}$, где:

- индекс k указывает на то, что фактор x_k выбран как управляющий для управляемого фактора x_i ;
- $x_k^{зад}$ есть k -я координата вектора $X_{зад}$ (задаваемая часть управления u_i);
- множитель u_{ki} – неизвестный параметр, требующий определения.

Преимущества такого определения управления u_i в отличие от «обычного» независимого управления ($u_i = u_{ki}$) обсуждаются ниже (см. также прилагаемый пример).

Пусть $U = (u_1, \dots, u_n)$ – совокупность КНУ, отобранных с учетом указанных выше требований и входящих в некоторые (но не все) уравнения КМ с соблюдением требований допущения 1в. Рассмотрим процедуру нахождения неизвестных сомножителей u_{ki} . Методологически эта процедура близка к процедуре нахождения управлений в дискретных нормированных нелинейных моделях, рассмотренной в [2, 3], хотя и содержит ряд отличий, главное из которых состоит в том, что согласно допущению 1г управления входят не во все уравнения КМ.

Процедура нахождения параметров u_{ki} содержит следующие этапы:

1. По условию $X_{зад}$ принадлежит внутренности куба K . Интерпретируем $X_{зад}$ как равновесное состояние (РС) КМ. Тогда для каждого управляемого фактора x_i справедливо

$$(4) \quad x_i^{зад} = \sum_{j=1}^n w_{ji} x_j^{зад} + e_i + \sum_{k \in K_i} u_{ki} x_k^{зад}, \quad i = 1, \dots, m.$$

Здесь $x_i^{зад}$ – i -я координата вектора $X_{зад}$; e_i – постоянное значение i -го фактора «внешней среды»; K_i – множество управлений, входящих в i -е уравнение; m – число уравнений с входящими в них управлениями. При этом неизвестные u_{ki} входят как параметры линейно в эти уравнения.

2. Сгруппируем в правой части все известные слагаемые в каждом из уравнений (4) и упорядочим каким-либо образом координаты u_{ki} h -вектора U . В результате получим систему линейных уравнений вида

$$(5) \quad MU = b(U)$$

относительно координат вектора U . Здесь M – невырожденная¹ матрица размера $m \times h$, ненулевыми элементами которой являются соответствующие элементы вектора $X_{зад}$, являю-

¹ Матрицу $M(U)$ всегда можно сделать невырожденной, слегка изменив вектор $X_{зад}$.

щиеся задаваемыми сомножителями искомых величин u_{ki} . Элементы вектора $b(U)$ суть разности между левой и правой частями каждого из уравнений в (4), причем такие разности не включают слагаемые с управлениями, входящими в эти уравнения. К системе (5) добавляется ряд ограничений вида

$$(6) \quad -1 \leq -a_{ki} \leq u_{ki} \leq b_{ki} \leq 1$$

для всех элементов u_{ki} вектора U . Важно заметить, что выбор нижних ($-a_{ki}$) и верхних (b_{ki}) границ в этих ограничениях может зависеть от решаемой задачи, основное требование при этом состоит в том, чтобы управляемая КМ оставалась а.у.

3. Система (5)–(6) решается с использованием обыкновенного метода наименьших квадратов (МНК). Обозначим через U^* её МНК-решение, определяемое как

$$(7) \quad U^* = M^+ b(U),$$

где M^+ – псевдообратная матрица для матрицы M . Пусть КМ с вектором управлений U^* совершает асимптотический переход в РС $X^*(U^*)$. Результирующее значение показателя $R(X_{зад}, X^*(E) | Z)$ определяется «качеством» выполнения указанных в разделе 4 условий согласованности.

Порядок учета требований при нахождении КНУ отобразим в виде следующей схемы:

$$Q(W) \xrightarrow{1)} Z \xrightarrow{2)} U \xleftarrow{\text{система(5)}} X_{зад}.$$

Цифры 1), 2) над стрелками показывают соответствующие условия согласованности из раздела 4. В силу сложной зависимости показателя R от входящих в него параметров его значение может быть найдено только с использованием моделирования.

Замечание 3. Сравним возможности независимых константных управлений вида u_i и КНУ $u_i = u_{ki} x_k^{зад}$. Полагаем, что независимые управления линейно входят в уравнения КМ, так что они могут быть найдены способом, аналогичным описанному выше. При этом для вектора $U_{нез}$ независимых управлений матрица M является $(0, 1)$ -матрицей, а вектор $b(U)$ тот же самый, что и в системе (5). Ограничения (6) могут быть пересчитаны для координат вектора $U_{нез}$ с учетом положительности коэффициентов пропорциональности (вида $x_k^{зад}$) управлений u_i и

$u_i = u_{ki} x_k^{3ad}$. Но тогда МНК-решения системы (5) и аналогичной системы для векторов $U_{нез}$ пропорциональны. Особенностью КНУ вида $u_i = u_{ki} x_k^{3ad}$ является указание управляющего фактора, что позволяет использовать предметную интерпретацию вводимых управлений и выбирать их с учетом предпочтений пользователя,

Более интересными в практическом плане являются так называемые **квазиструктурные** управления, суть которых состоит в изменении (или внесении дополнительных) влияний управляющих факторов на управляемые (т.е. в изменении весов на соответствующих дугах КК или проведение дополнительных дуг в КК).

5.2. ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИСТРУКТУРНЫХ УПРАВЛЕНИЙ

Для удобства квазиструктурные управления будем обозначать буквой v с индексами. Формально **квазиструктурное** управление (КСУ) v_k от управляющего фактора x_k к управляемому фактору x_i определяется как $v_i = u_{ki} x_k(t)$. Это означает, что в КК проводится дуга с весом u_{ki} от фактора x_k к фактору x_i . При этом если в КК уже есть дуга с весом w_{ki} , то к этому весу добавляется член u_{ki} (с соблюдением условия $|w_{ki} + u_{ki}| \leq 1$). В отличие от рассмотренного выше КНУ $u_i = u_{ki} x_k^{3ad}$, где x_k^{3ad} есть константное значение k -й координаты вектора X_{3ad} , в КСУ $v_i = u_{ki} x_k(t)$ подразумевается, что управляющий фактор x_k изменяется от начального значения $x_k(0)$ до некоторого равновесного значения x_k^* . Отсюда следует, что априори само значение КСУ v_i не может быть найдено, поскольку оно зависит от РС X^* , в которое переходит КМ под действием этого управления. Выход из такого положения состоит в следующем. Представим КСУ v_i в виде $v_i = u_{ki}^* x_k(t)$, где значение u_{ki}^* (вместе со значениями других аналогичных сомножителей) находится так же, как при использовании КНУ (т.е. путем решения задачи (5)–(6)). Таким образом, начальное значение КСУ v_k есть величина $u_{ki}^* x_k(0)$. При этом очень важным моментом является то, что все условия согласованности, выполняемые при использовании КНУ, выполняются и при использовании КСУ, поскольку согласно

Зависимыми факторами в ней являются: 1 – доступность наркотиков (уличные распространители наркотиков); 2 – употребление наркотиков; 3 – цена на кокаин; 4 – активность городских наркодилеров (поставщиков наркотиков); 5 – плантации коки; 6 – прибыль от наркотиков для муниципальных чиновников; 7 – активность муниципальной полиции; 8 – прибыли наркобаронов, связанные с наркотиками; 9 – уровень муниципальной коррупции в сфере наркотиков.

Независимые факторы «внешней среды»: e_1 – социальные проблемы; e_2 – активность международной полиции по борьбе с наркотиками.

Значения весов следующие (для удобства вес w_{ij} обозначается как wij):

$$w41 = 0,6; w51 = 0,3; w61 = 0,4; w71 = -0,3; w81 = 0,3;$$

$$w91 = 0,5; w12 = 0,7; w32 = -0,2; w23 = 0,3; w73 = 0,3;$$

$$w34 = 0,5; w64 = 0,6; w74 = -0,2; w85 = 0,7; w26 = 0,8;$$

$$w96 = 0,5; w17 = 0,7; w38 = 0,9; w68 = 0,5; w89 = 0,5;$$

$$w69 = 0,4; w97 = -0,4;$$

$$E = [e_1 \ e_2]; e_1 = 0,4; e_2 = 0,2;$$

$$we1x2 = 0,4; we2x5 = -0,2; we2x6 = -0,1; we2x8 = -0,5.$$

При данных значениях весов наибольшее собственное значение матрицы W весов есть 0,9903. Длина интервала моделирования (ИМ)¹ – 80 тактов.

Пусть начальное состояние $X(0)$ выбрано таким же, как и в [11], т.е. $X(0) = (0,7; 0,6; 0,7; 0,5; 0,5; 0,5; 0,3; 0,4; 0,4)$. При указанных значениях весов ситуация имеет явную тенденцию к ухудшению на ИМ, что показано на рис. 2: доступность и потребление наркотиков растут, как и прибыли наркодилеров и связанных с наркотиками чиновников.

¹ Длина ИМ определяется пользователем как такая, при которой значения факторов в конечной точке ИМ отличаются несущественно (скажем, до 0,001) от аналогичных значений при удвоении ИМ.

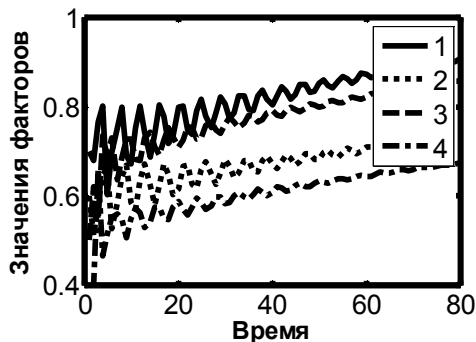


Рис. 2. Графики основных факторов, свидетельствующие об ухудшении наркоситуации (цифрами указаны соответствующие факторы)

Перед рассмотрением способов улучшения ситуации прежде всего определим целевые факторы. Анализ матрицы $Q(W)$ показывает, что в роли целевых можно взять факторы 1, 2, 6, 9. Соответствующая знаковая подматрица матрицы $Q(W)$ на уровне среза 0,06 представлена в первых четырех строках таблицы 1 (в скобках приведены соответствующие («срезаемые») элементы матрицы $Q(W)$). Видим, что целевые факторы 1, 2, 6, 9 на уровне среза 0,06 являются согласованными.

Таблица 1. Подматрица целевых факторов из $Q(W)$

	1	2	6	9
1	0(-0,047)	0(-0,029)	+	+
2	+	+	0(-0,027)	+
6	+	+	+	+
9	0(-0,044)	+	+	+
4	0(-0,051)	+	+	+
5	+	+	+	+

Согласно приведенной на рис. 1 КК единственным органом в городе, с помощью которого можно улучшить ситуацию, является муниципальная полиция (фактор 7). Этот фактор выбо-

рем в качестве управляющего. Считаем следующие меры приемлемыми для полиции:

- борьба с уличными распространителями наркотиков (u_{71});
- борьба с наркодилерами - поставщиками наркотиков (u_{74});
- борьба с коррупционными чиновниками (u_{79})¹.

Таким образом, управляемыми являются факторы 1, 4, 9, причем факторы 1 и 9 – целевые и согласованные. Как показывает 5-я строка таблицы 1, фактор 4 также согласован с целевыми факторами.

Однако в наркоситуации имеются лица, заинтересованные в сохранении неблагоприятной ситуации, главными из которых являются наркобароны (фактор 8). Для простоты полагаем, что целевые факторы наркобаронов те же, что и у полиции, но с противоположными направлениями желательных изменений. Считаем следующие меры противодействия приемлемыми для наркобаронов:

- поддержка наркодилеров (u_{84});
- увеличение плантаций коки (u_{85});
- поддержка коррупционных чиновников (u_{89}).

Управления, исходящие от фактора 8, также согласованы с целевыми факторами,

Следуя постановке исходной задачи выберем заданное состояние² – пусть им будет $X_{зад} = (0,3; 0,4; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,2; 0,3; 0,3)$, и цель пользователя – перевести КМ в какое-либо РС, входящее в окрестность состояния $X_{зад}$ с использованием КНУ или КСУ, а также сравнить эффективность обоих типов управлений с использованием коэффициента R , определяемого согласно (3). Прежде всего найдем значения сомножителей u_{7i} и

¹ Считаем, что непосредственное влияние полиции на прибыли наркокартелей (например, путем блокировки банковских счетов) не является прерогативой муниципальной полиции.

² Заданное состояние можно рассматривать как ориентировочное состояние ситуации (консенсус), при котором соблюдены интересы и полиции, и наркобаронов.

u_{8j} , входящих в КНУ вида $u_{7i} x_7^{zad}$ и $u_{7i}^* x_{7i}(t)$, $i = 1, 4, 9$, а также $u_{8j} x_8^{zad}$ и $u_{8j}^* x_{8j}(t)$, $j = 4, 5, 9$. Обозначим $U = (u_{71}, u_{74}, u_{79}, u_{84}, u_{85}, u_{89})$. Система для поиска координат вектора U , аналогичная системе (5), имеет вид

$$(8) \quad \begin{pmatrix} x_7^{zad} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_7^{zad} & 0 & x_8^{zad} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_7^{zad} & 0 & 0 & x_8^{zad} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_8^{zad} \end{pmatrix} U = \begin{pmatrix} 0,09 \\ -0,05 \\ -0,01 \\ 0,15 \end{pmatrix}$$

с ограничениями

$$(9) \quad -1 \leq u_{7i} \leq 1, \quad i = 1, 4, 9,$$

$$(10) \quad -1 \leq u_{84} \leq 1, \quad j = 4, 5, 9.$$

МНК-решение задачи (8)–(10) имеет вид

$$U^* = (u_{71}^*, u_{74}^*, u_{79}^*, u_{84}^*, u_{89}^*, u_{85}^*) = (-0,1; -0,4; -0,2; 0,1; 0,1; 0,1).$$

При этом:

- при использовании КНУ модель приходит¹ в а.у. РС $X^*(U^*) = (0,1304; 0,2346; 0,0834; 0,0954; 0,0462; 0,1874; 0,0435; 0,1088; 0,1194)$, причем $R(X_{zad}, X^*(E) | Z) = 0,7282$;
- при использовании КСУ модель приходит в а.у. РС $X^{**} = (0,4867; 0,4604; 0,2002; 0,3278; 0,2369; 0,5083; 0,1876; 0,3780; 0,3885)$, в котором $R(X_{zad}, X^{**}(E) | Z) = 0,4439$.

Поскольку в данном случае число управляемых факторов $m = 4$, полученные значения показателя R находятся первой половине интервала $[0, 4]$, что неплохо. Как уже сказано, показатель $R(X_{zad}, X^*(E) | Z)$ зависит от X_{zad} , X^* , Z , которые в каждом случае определяются по-разному, так что сравнение его значений для разных случаев не имеет смысла. В каждом рассматриваемом случае (при тех же выбранных X_{zad} , X^* , Z и тех же предельных значениях ограничений (9)–(10) на управления) из сравнений значений R при использовании КНУ и КСУ можно

¹ К значениям факторов и управлений, получаемых при компьютерном моделировании, нельзя подходить пунктуально, следует учитывать лишь порядковые соотношения между соответствующими значениями.

делать вывод о предпочтительном использовании того или иного класса управлений при решении исходной задачи. Так, в данном случае предпочтительным является использование КСУ, однако положение может измениться при изменении какого-либо из указанных параметров влияния.

8. Заключение

Показано, что задача обеспечения целенаправленного поведения КМ требует учета ряда особенностей КМ и, в первую очередь, соблюдения требования предметной интерпретируемости мероприятий, направленных на изменение динамики КМ. В отличие от решения аналогичной задачи в технических системах (см., например, [12]) требование предметной интерпретируемости накладывает существенные ограничения на выбор таких мероприятий. Именно с учетом этого требования в работе предложены два класса управлений, процедуры их нахождения и оценки «эффективности» этих управлений при решении исходной задачи. Хотя предложенный подход по управлению КМ справедлив для линейных КМ, его эффективность, зависящую от многих (указанных в работе) факторов влияния, нельзя оценить априори, она может быть разной даже для разных линейных моделей.

Литература

1. АВДЕЕВА З.К., КОВРИГА С.В., МАКАРЕНКО Д.И., МАКСИМОВ В.И. *Когнитивный подход в управлении* // Проблемы управления. – 2007. – №3. – С. 1–8.
2. КОРНОУШЕНКО Е.К. *Управление равновесными состояниями билинейных нормированных моделей* // Проблемы управления. – 2012. – №5. – С. 2–8.
3. КОРНОУШЕНКО Е.К. *Управление равновесными состояниями положительных нелинейных нормированных моделей* // Проблемы управления. – 2014. – №2. – С. 18–25.

4. НОВИКОВ Д.А. «Когнитивные игры»: линейная импульсная модель // Проблемы управления. – 2008. – №3. – С. 14–22.
5. AVRAMOVA N.A., AVDEEVA Z.K., FEDOTOV A.A. *An approach to systematization of types of formal cognitive maps* // Proc. 18th IFAC World Congress, Milan, Italy, 2011. – P. 14246–14252.
6. CHUN-MEI L. *Fuzzy Cognitive Map for System Control* – [Электронный ресурс]. – URL: www.wseas.us/e-library/transactions/systems/2008/31-892.pdf (дата обращения: 03.07.2014).
7. CORNELIUS S.P., KATH W.L., MOTTER A.E. *Realistic Control of Network Dynamics* // Nature Communications – 2013. – Vol. 4. – P. 1942. – [Электронный ресурс]. – URL: dyn.phys.northwestern.edu/pdf/ncomms2939.pdf, arxiv.org/pdf/1307.0015 (дата обращения: 27.08.2014).
8. *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications* // Studies in Fuzziness and Soft Computing. Vol. 247. – Springer: 2010. – 426 p.
9. KOTTAS T.L., BOUTALIS Y.S., DEVEDZIC G., MERTZIOS B.G. *A new method for reaching equilibrium points in Fuzzy Cognitive Maps* // Proc. 2nd International IEEE Conference “Intelligent Systems”, 2004. – Vol. 3. – P. 53–60.
10. KOTTAS T.L., BOUTALIS Y.S., CHRISTODOULOU M.A. *Adaptive Estimation of Fuzzy Cognitive Networks and Applications*. – [Электронный ресурс]. – URL: link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-90-481-3018-4_13 (дата обращения: 03.07.2014).
11. MCLUKAS A.C. *Improving Causal Mapping Practice Using the System Dynamics 'Front-End' Tool* // Proc. of System Dynamics 2002, International System Dynamics Conference, Palermo, Italy, August 2002. – [Электронный ресурс] – URL: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2002/proceed/papers/Mclucas1.pdf> (дата обращения 30.09.2014)
12. PASQUALETTI F., ZAMPIERI S., BULLO F. *Controllability Metrics, Limitations and Algorithms for Complex Networks*. –

[Электронный ресурс]. – URL: <http://arxiv.org/abs/1308.1201>
(дата обращения: 03.07.2014).

GOAL-ORIENTED STATE CONTROL OF COGNITIVE LINEAR MODEL WITH BOUNDED STATE SPACE

Eugeniy Kornoushenko, Institute of Control Sciences of RAS,
Moscow, Doctor of Science, Senior Researcher (ekorno@mail.ru).

Abstract: The cognitive map, being the basic concept for this paper, is used to build a cognitive linear dynamic model with a bounded state space. We consider the problem of transferring this model from an arbitrary initial state to some asymptotically stable state belonging to a neighborhood of a given state. We suggest two classes of controls and introduce the “quality” of a transfer as proximity of the resulting steady state to the desired state. At the end, we propose an illustrative example.

Keywords: cognitive map, cognitive model, objective factors,
factor consistency.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Караваем М.Ф.*

*Поступила в редакцию 03.07.2014.
Опубликована 30.09.2014.*

УДК 007
ББК 22.1

ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ СЦЕНАРНЫХ ПРОГНОЗОВ И ФОРСАЙТОВ: ИНСТРУМЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Сидельников Ю. В.¹

(ФГБУН Институт проблем управления РАН, Москва)

Шалышкин М. И.²

*(ОАО Российская Авиастроительная Корпорация МИГ,
Москва)*

Шевыренков М. Ю.³

(ФГБУН Институт проблем управления РАН, Москва)

Рассматривается обзор зарубежных сценарных прогнозов и форсайтов с целью выявления инструментов информационного управления. Выявленные инструменты можно также использовать в системах поддержки стратегического и территориального планирования на федеральном и региональном уровнях. Сформулирован ряд слабо проработанных, но чрезвычайно важных проблем и указаны возможные пути их решения.

Ключевые слова: обзор зарубежных сценарных прогнозов и форсайтов, инструменты, информационного управления, системы поддержки стратегического и территориального планирования на федеральном и региональном уровнях, модально-временные и интеррогативные логики.

1. Введение

Прежде чем описывать инструменты информационного управления, используемые в зарубежных самореализующихся и

¹ Юрий Валентинович Сидельников, г.н.с. ИПУ РАН, доктор технических наук, профессор (sidelnikovu@mail.ru).

² Михаил Игоревич Шалышкин, инженер-экономист (m.shaly@yandex.ru).

³ Максим Юрьевич Шевыренков, и.о. м.н.с. (sheverenkov@mail.ru).

форсайтных (англ. Foresight) прогнозах, и обосновано сформулировать цель написания данной статьи, кратко обозначим актуальность темы.

Информационное управление, реализуемое в технологиях создания форсайтных и самореализующихся прогнозов, представляет собой новый эффективный инструмент управления будущим.

Очень часто такая технология опирается на сценарный подход. Сценарные прогнозы развития событий, приведённые в рассматриваемых нами ниже публикациях, отличаются достаточно высокой эффективностью и уровнем качества. Причем, упоминая понятие качества пассивного прогноза⁴, мы трактуем его в рамках работы одного из авторов данной статьи [13], а понятия качества активного прогноза и его эффективности мы трактуем в рамках работы Д.А. Новикова и А.Г. Чхартишвили [11].

К примеру, в одном из сценариев Global Trends: 2030 [26] достаточно подробно и точно описаны события, связанные с усилением Российского военного влияния в СНГ. Для подтверждения этого заключения относительно рассматриваемого прогноза можно посмотреть материалы сайта ИТАР-ТАСС со статьей от 23.04.2013 корр. ИТАР-ТАСС Л. Ключниковой: «Лукашенко: Белорусско-российские учения «Запад-2013» не направлены против НАТО» [34].

Таким образом, объектом исследования являются следующие прогнозные материалы, обзор которых мы проведем, в первую очередь, по причине их высокой эффективности и уровня качества:

– совокупность прогнозных материалов Global Scenarios, разрабатываемых на постоянной основе нидерландско-британской нефтегазовой компанией Royal Dutch Shell;

⁴ «Информация, получаемая субъектом (в том числе коллективным) в результате прогноза, может быть просто принята им к сведению, а может изменить его поведение по сравнению с тем, как он вел бы себя в отсутствие этой информации. В первом случае говорят о пассивном прогнозе, во втором случае – об активном» [11, с. 4].

– совокупность прогнозных материалов Global Trends, которые разрабатываются на постоянной основе National Intelligence Council (NIC) (Национальным советом разведки) США.

Именно их мы и будем тщательно анализировать, обращая в первую очередь внимание на методическую составляющую этих прогнозов, с тем, чтобы применять выявленные инструментальные элементы, приемы, механизмы воздействия и влияния, используемые в зарубежных сценарных и самореализующихся сценарных прогнозах и форсайтах для повышения эффективности информационного управления.

Таким образом, общей целью нашего исследования является повышение эффективности результатов использования сценарной технологии и форсайта, позволяющих разрабатывать самореализующиеся и форсайтные прогнозы.

Для достижения вышеуказанной цели в рамках данной статьи предлагается решение следующих задач:

– рассмотреть обзор и критически проанализировать последовательную совокупность прогнозных материалов Royal Dutch Shell и National Intelligence Council США;

– выявить инструментальные элементы, приемы, механизмы воздействия и влияния, которые были использованы разработчиками этих прогнозных материалов.

В дальнейшем именно это позволит использовать найденные элементы для повышения эффективности создаваемых прогнозов, как инструментов информационного управления.

2. Аналитический обзор последовательной совокупности прогнозных материалов, публикуемых Royal Dutch Shell, NIC и их критический анализ

При критическом анализе рассматриваемых прогнозных материалов мы выявим те инструментальные элементы, приемы, механизмы воздействия и влияния, которые были использованы разработчиками этих прогнозных материалов.

В рамках данного исследования мы рассматриваем форсайт как технологию, которая позволяет заказчику не столько прогнозировать развитие социально-экономических объектов и

субъектов, сколько информационно воздействовать на них. Таким образом, мы кратко поясняем понятие форсайта.

В настоящее время существует очень много его трактовок. См. например, двухтомник ЮНИДО [26], монографию под ред. Н.В. Гапоненко [10], материалы с участием В.П. Третьяка [16, 17]. Столь большое многообразие трактовок этого базового понятия, скорее всего, свидетельствует либо о начальном этапе становления этого направления, либо о переломном этапе в его развитии. Затрагивая тему эффективности технологии разработки форсайта, мы предлагаем дать свое родовидовое определение этого базового понятия. Критика существующих определений – тема отдельной статьи. В данной работе мы будем базироваться на трактовке понятия форсайта, изложенной в книге В.П. Третьяка, внося некоторые изменения [16].

В рамках данного исследования мы рассматриваем форсайт как прогнозную технологию, которая позволяет заказчику косвенным образом информационно воздействовать на активных участников процессов, от которых зависит развитие интересующих его социально-экономических объектов и субъектов, с целью создания желаемого для него будущего состояния.

При этом заказчик пытается управлять ими следующим образом:

- формирует и предоставляет информационную картину будущего этим активным участникам;
- учитывает и согласовывает партикулярные интересы и координирует усилия активных участников на основе полученного прогнозного документа, как программы реализации этого будущего.

Причем активными участниками могут быть, например: ЛПР, коллективные субъекты, слои гражданского общества, заинтересованные в эффективном развитии социально-экономического объекта и (или) субъекта и содействующие этому.

Рассмотрим и в дальнейшем используем понятие «форсайт-ный прогноз» как результат использования форсайта, выраженный в форме прогнозного документа.

Понятие форсайт-ного прогноза мы вводим с тем, чтобы избежать путаницы и четко очертить границу между техноло-

гией и одним из результатов ее использования. Путаница существует в аналогичной ситуации, когда понятие сценария в научных источниках трактуется и как метод (технология), и как документ, являющийся результатом использования этого метода (технологии).

Как технология, форсайт зачастую использует сценарный подход. При этом необходимо отметить, что сценарное прогнозирование достаточно давно и широко применяется. Сама сценарная технология используется заказчиками для того, чтобы уменьшить степень неопределенности будущего, подготовиться к внезапным изменениям внешней среды и минимизировать ущерб от влияния негативных факторов. Именно так трактуется причины ее использования компанией Royal Dutch Shell в следующей статье [25].

Метод, а по сути, технология создания сценариев, являясь одним из самых «старых» методов прогнозирования, пережил свое второе рождение в 60-х годах XX века. В работах зарубежных исследователей Г. Кана [21, 22], О. Гелмера [20], Б. де Жувенеля [19], группы немецких ученых под руководством профессора А. фон Мюллера [24] и многих других была заново создана эта технология. Среди российских работ можно отметить статьи и монографии А.С. Баварова [1], В.Н. Цыгичко [18], одного из авторов данной статьи [12, 13, 14], а также группы авторов монографии ИПУ РАН [9].

Проанализировав последовательную совокупность прогнозных материалов National Intelligence Council США и Royal Dutch Shell, мы получили обобщенную динамическую схему преобразования прогнозов от обычного сценарного прогноза к форсайтному прогнозу с возрастанием уровня их влияния на будущее:

Сценарный прогноз как средство уменьшения степени неопределенности будущего. Примеры: «Global Scenarios 1995–2020»⁵ [38] и «Global Trends 2015» [29].

Сценарный прогноз, имеющий некоторые элементы, при-
сущие активному прогнозу, однако скорее в целях «обкатки»

⁵ В названии прогноза 1995 – начало прогнозного периода, 2020 – период упреждения прогноза.

этих элементов, нежели в целях информационного управления. По сути, такой прогноз является некой «переходной» стадией между сценарным и активным сценарным прогнозом. Пример: «Global Scenarios 1998–2020» [43].

Активный сценарный прогноз. Пример: «Global Scenarios 2001–2020» [40].

Самореализующийся сценарный прогноз с элементами информационного управления будущим. Пример: Global Trends 2020 [31], Global Trends 2025 [32].

Форсайтный прогноз. Пример: Global Trends 2030 [30].

Говоря об активном прогнозе, необходимо иметь в виду, что даже если разработчики прогноза не ставили своей целью создать активный прогноз, то правдоподобный, широко известный прогноз может стать таковым. Примером ненамеренного преобразования прогноза в активный прогноз может служить доклад Goldman Sachs [28].

Совместное рассмотрение нами прогнозных материалов NIC и Royal Dutch Shell связано с их общностью в методическом плане, которую обеспечивал в 2000-е годы Гэд Дэвис (начиная с доклада Global Trends 2020: «Mapping the Global Future»).⁶

Прогнозные работы как NIC, так и Royal Dutch Shell разрабатываются с определенной периодичностью. Так, прогнозные документы NIC США разрабатываются и публикуются с 1997 года, и каждый прогноз продлевает период упреждения предыдущего ещё на 5 лет. Периодичность разработки прогнозных материалов Royal Dutch Shell на постоянной основе также легко прослеживается. И хотя эти прогнозные документы разрабатывались с начала 1970-х, в публичном доступе они появились только с 1990-х годов. При этом необходимо учесть, что данные документы содержат минимальную информацию по процедуре реализации и конкретным методам разработки своих сценариев. Рассматриваемые сценарные прогнозы британско-нидерландской нефтегазовой компании Shell могут быть полез-

⁶ В то время он был руководителем сценарной группы компании Royal Dutch Shell и формальным главой международного сценарного проекта.

ны нам и для сопоставления с последовательной совокупностью прогнозных материалов разрабатываемых НИС США.

Одним из событий, продемонстрировавших эффективность использования сценарной технологии и создания сценарного прогноза, стал так называемый «Нефтяной шок» 1973 года, когда компания Shell, сумев предсказать введение нефтяного эмбарго и должным образом к нему подготовившись, вошла в десятку крупнейших нефтегазовых компаний мира. В это же время другие компании в экстренном порядке пересматривали свои бюджеты и решали, как действовать дальше.

Именно поэтому мы будем критически анализировать последовательную совокупность прогнозных материалов Shell. Одной из первых эта компания внедрила технологию сценарного прогнозирования, при этом позиционировав ее на ранних этапах отдельно от стратегической политики компании. Первые прогнозы Shell были созданы только для внутреннего пользования, составляли коммерческую тайну компании и являли собой одно из значимых конкурентных преимуществ для формирования надежных долгосрочных планов развития компании.

Основной задачей прогнозирования, в том числе и сценарного, является минимизация неопределенности будущего, подготовка к внезапным изменениям внешней среды и минимизация ущерба от влияния негативных факторов. Например, используя выявление тех ключевых неопределенностей, которые способны оказать серьезное влияние на всю мировую экономику, на конкретный сектор экономики или даже на конкретную компанию, а также основных движущих сил, которые являются характеристиками ключевых неопределенностей.

Рассматривая опубликованные прогнозы Shell (начиная с 1992 года Global Scenarios 1992–2020 и до Global Scenarios 2001–2020), можно заметить не только общность, но и существенные отличия от сценарных работ Global Trends 2010–2030, разрабатываемых и публикуемых НИС США, которые будут далее рассмотрены в данной статье. Например, эти отличия состоят в способах подачи прогнозной информации читателю.

В публичном доступе находится 7 следующих опубликованных работ Shell: Global Scenarios 1992–2020, Global Scenarios 1995–2020, Global Scenarios 1998–2020, Global Scenarios 2001–2020,

Global Scenarios to 2025, Global Scenarios to 2050, New Lens Scenarios (to 2100).

В рамках данной статьи нами будет проанализирован блок из первых четырёх опубликованных сценарных прогнозов Shell. Обзор последних трёх опубликованных прогнозов Royal Dutch Shell в данной статье представлен не будет, так как является темой последующих статей.

Компания Shell при подготовке сценарных прогнозов исходила из следующего понимания трактовки понятия сценарий [38]: «Сценарии – это правдоподобные и сложные истории, а не прогнозы. Это не экстраполяция прошлого для предсказания событий, которые произойдут в будущем, но две различные истории о том, как это будущее могло бы выглядеть. Эти истории выполняют три основные функции.

Во-первых, они помогают нам подготовиться к скачкообразным и внезапным изменениям. В отличие от прогнозов, которые, подчас, усыпляют нас, даря убеждения, что мы в состоянии предсказывать будущее, сценарии отражают непредсказуемые события, влияющие на мир в целом, с которыми мы должны быть готовы встретиться лицом к лицу, даже если не знаем, что они могут произойти. Сценарии помогают нам предвидеть (отвечая на вопросы «а что, если?»), выявлять и интерпретировать эти важные события и новые тенденции

Также сценарии помогают создать общую культуру или язык, при помощи которых может быть представлено и описано будущее. В группе компаний, столь же децентрализованных, как и Royal Dutch Shell, в которой функциональные подразделения по большей части автономны, сценарии создают общие цели и образы, способствующие сплоченности подразделений компании.

В-третьих, сценарии ставят под сомнение то видение будущего, которое есть у каждого, – ментальные карты. Сами по себе, эти карты являются рассказами о реальности – но они ограничены теми возможностями, которые мы учитываем, стратегиями, а также действиями, которые мы предпринимаем. Когда изменяются наши перспективы, наш взгляд на то, что может произойти в будущем, также изменяется. Подвергая сомнению

наши ментальные карты, сценарии помогают представить и создать новые возможности».⁷

Рассмотрим последовательное описание совокупности первых из рассматриваемых четырех сценарных прогнозов компании Shell в виде матричной схемы и структурируем их совокупность, с указанием в каждом из столбцов названия основных сценариев прогноза, указанного в заголовке столбца.

Первый из опубликованных и широко известных сценарных прогнозов носил название «Global Scenarios 1992–2020» и являлся основой для разработки последующих сценариев. Указано, что отправной точкой его создания послужили события 80-90-х годов, а также переход в конце 1980-х годов «в новую эру» интегрированного мира, который формировался под влия-

⁷ В оригинале: «Scenarios are plausible and challenging stories, not forecasts. They do not extrapolate from the past to predict what will happen in the future, but instead offer two very different stories of how the future might look. These stories serve three major functions. First, they help us prepare for discontinuities and sudden change. Unlike forecasts, which can sometimes lull us into thinking we can predict the future, scenarios mirror the unpredictable, world-changing events that we must be ready to face, even if we cannot know what they will be. Scenarios help us to anticipate (by asking ‘what if’ questions) and to recognize and interpret important events and new developments.

These stories serve three major functions. First, they help us prepare for discontinuities and sudden change. Unlike forecasts, which can sometimes lull us into thinking we can predict the future, scenarios mirror the unpredictable, world-changing events that we must be ready to face, even if we cannot know what they will be. Scenarios help us to anticipate (by asking ‘what if’ questions) and to recognize and interpret important events and new developments. The scenarios also help create a common culture, or language, through which the future can be imagined. In a group of companies as decentralized as the Royal Dutch/Shell Group, in which the operating units have a great deal of autonomy, scenarios create unifying themes and images and help foster group cohesion.

Third, scenarios challenge the mental maps we all hold. These maps in themselves are stories about reality – but they affect which opportunities we notice and what strategies and actions we undertake. When our perspective changes, our view of what is possible also changes. By challenging our mental maps, scenarios help us envision and create new possibilities.»[34].

нием мощных процессов, таких как либерализация, глобализация и технологический прогресс. Ключевым вопросом, обсуждаемым в прогнозе «Global Scenarios 1992–2020», был следующий: примет ли мировая общественность как объективно существующие и действующие процессы глобализации, либерализации и технологического прогресса или же будет пытаться им противостоять. Мир, при котором сообщество принимает новые процессы, как естественные, по мнению специалистов Shell, будет развиваться согласно сценарию под названием «Новые горизонты». Противоположный вариант возможного будущего, где таким движущим силам, как глобализация, либерализация и технологический прогресс, будет оказано активное противодействие, представлен читателю под названием «Баррикады». Хотя сценарии явным образом не подразделяются на «плохой» и «хороший», но сценарий «Новые горизонты» можно условно обозначить как «хороший». В рамках сценарного варианта «Баррикады» описываются следующие процессы: усиление позиций националистов, консервативных «зелёных» и фундаменталистов в правительствах, частичное закрытие странами своих внутренних рынков, усиление международной напряжённости, сильное социальное расслоение. Вероятно, что данный сценарий можно условно обозначить как «плохой». Хочется отметить, что в рамках сценария «Новые горизонты» основное внимание уделено развивающимся странам. При этом полагая, что темпы их роста при условии прекращения сотрудничества с Организацией экономического сотрудничества и развития будут значительными.

В сценарии «Баррикады» наоборот, развивающиеся страны будут развиваться медленно, и их отрыв от развитых стран будет нарастать. Таким образом, читателям этого сценарного прогноза внушается утверждение о наличии причинно-следственной связи между прекращением сотрудничества развивающейся страны с Организацией экономического сотрудничества и развития и замедлением темпов ее роста или же это утверждение является поводом для агентов влияния развитых стран для принятия соответствующих решений в руководстве развивающихся стран.

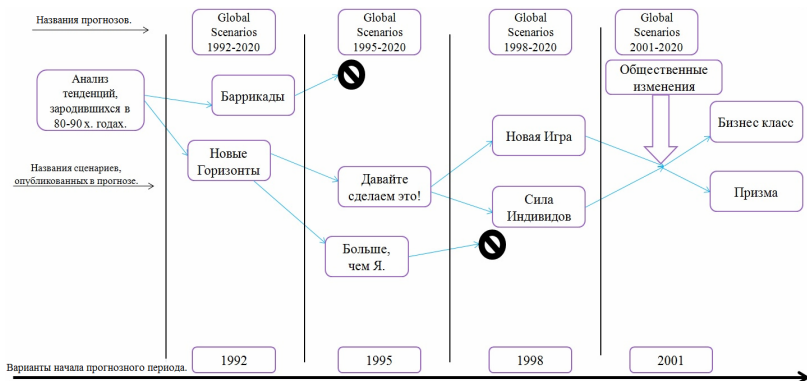


Рис. 1. Последовательная совокупность первых из рассматриваемых четырех сценарных прогнозов компании Shell

Следующий опубликованный доклад под названием «Global Scenarios 1995–2020» является логическим продолжением своего предшественника, но имеет следующие отличия.

В прогнозе представлена новая концепция: «There Is No Alternative⁸». (Аббревиатура TINA). Спустя 3 года с момента создания сценарного прогноза Global Scenarios 1992–2020 стало очевидно, что противостоять процессам либерализации, а особенно глобализации и научно-технического прогресса, уже невозможно.

Существенно увеличилось количество прогнозных величин. Представленные на графиках данные стали куда более конкретны, вплоть до отдельных стран.

Выводы, как завершающая часть публикации, стали более информативными. В новом сценарном прогнозе приводится не исчерпывающее сравнение двух сценариев, а описание состояния экономики, бизнеса и др. сфер в рамках этих сценариев.

⁸ На наш взгляд, кратко сформулировать суть концепции TINA можно следующим образом: взаимосвязанная совокупность динамично развивающихся тенденций, рассматриваемых как система воздействия движущих сил, имеющих свой жизненный цикл, влиянием которых нельзя пренебречь.

Таким образом, сценарный прогноз стал более информативен и несколько более конкретен. В целом его можно рассматривать как логическое продолжение Global Scenarios 1992–2020.

Третий рассматриваемый нами сценарный прогноз «Global Scenarios 1998–2020», как и его предшественники, содержит два сценария дальнейшего развития мира с тем же периодом упреждения и имеет сходную со своими предшественниками структуру, однако несколько больше по объему. В качестве введения была приведена уже традиционная для прогнозов Shell статья «о сценариях», в которой описывается, чем сценарии отличаются от прогнозов и где могут применяться.

Укажем на основные отличия сценарного прогноза «Global Scenarios 1998–2020» от ранее опубликованных сценарных прогнозов Global Scenarios:

Сценарный прогноз стал более ориентирован на крупные компании.

Во введении представлен список контрольных вопросов⁹, ответы на которые руководителям других компаний придется искать в рамках двух новых опубликованных сценариев.

Получила дальнейшее развитие концепция TINA, описанная нами при анализе Global Scenarios 1995–2020.

В прогнозе дано описание влияния ряда эффектов, вызванных различными движущими силами. Воздействие этих эффектов происходит на двух уровнях: уровень конкретного человека, который становится богаче, эрудированнее и обретает большую свободу выбора (TINA Below), и уровень: рынков, финансовых систем, правительств, а также исследовательских институтов (TINA Above).

Третий сценарный прогноз Shell по стилю и методу подачи материала схож со своими предшественниками. Основное его отличие заключается в том, что данный сценарный прогноз еще не является активным, однако содержит конкретные советы для руководства организаций, которые могут им воспользоваться, и список контрольных вопросов, который поможет адаптировать

⁹ Это устойчивое словосочетание на русском языке, обозначающее специальный экспертный метод [15].

политику организации к возможным будущим изменениям, указанным в сценариях.

В этом прогнозе сценарии Shell представляются пользователям скорее в виде «заготовки», которую они могут применить при создании собственной новой стратегии, а также проверки уже существующих на возможность их адаптации к возможным переменам.

В отличие от предыдущих докладов Royal Dutch Shell, прогнозный документ Global Scenarios 2001–2020 стал первым активным сценарным прогнозом. Перечислим те особенности прогноза, которые содействуют заказчику в реализации желаемого для него будущего, по сути, реализуя прогноз как активный:

Получили дальнейшее развитие графические элементы оформления работы, каждый раздел выполнен в определённой цветовой гамме. (Акцентируя внимание читателя на нужных для заказчика блоках информации и, тем самым, влияя на него).¹⁰

Впервые опробована обратная связь с читателями, среди которых будут и потенциально активные участники, вовлечённые в процесс формирования и реализации активного сценарного прогноза.

Значительно увеличилось количество анализируемой информации. Больше количество предоставляемой информации, при ее соответствующем графическом оформлении, и апостериори выявленной достаточной надёжности прогноза будет способствовать большему доверию читателей к этому материалу и, тем самым, влиять на него.

Представлен краткий обзор ранее разработанных и в большинстве своем реализовавшихся сценариев, начиная с 1992 года (Global Scenarios 1992–2020), а также динамика их изменения.

В предисловии приведены практические советы для менеджеров касательно применения сценариев при планировании бизнес-деятельности. Таким образом, авторы прогноза влияют на менеджмент компании, рекомендуя им опираться на представленные в прогнозе данные;

Опубликована концепция 3R, представленная как результат ответной реакции мирового сообщества на процессы либерали-

¹⁰ Более подробно это будет описано в разделе 3.

зации¹¹, глобализации и технологического прогресса. Читателю представлен набор движущих сил, с помощью которых стало возможным контролировать воздействие процессов либерализации, глобализации и технологического прогресса: Регулирование, Ограничение и Правила (англ. Аббревиатура 3R).¹² Итоговые сценарии детально описывают влияние эффектов, вызванных ТИНА, на бизнес.

Далее мы проводим критический анализ последовательной совокупности прогнозных материалов National Intelligence Council (Национального совета разведки) США, публикуемых с 1997 года.

При анализе американских прогнозных материалов National Intelligence Council особый интерес представляет динамика изменения формы и сути рассмотренных прогнозных материалов и способа их формирования. Именно эту динамику мы еще раз затронем, но лишь на сравнительно малой совокупности прогнозных материалов National Intelligence Council, так как она на этом множестве более, нежели общая, выражена, чем та, которую мы ранее рассмотрели в начале статьи. Мы полагаем, что в методическом плане эта динамика изменения следующая.

Не сценарный прогнозный доклад о развитии регионов мира и роли США (см. «Global Trends 2010» [29]).

Сценарный прогноз(см. Global Trends 2015).

Самореализующиеся сценарные прогнозы(см. Global Trends 2020–25).

Форсайтный прогноз (см. Global Trends 2030).

Самый ранний из анализируемых нами прогнозов – «Global Trends 2010» – был опубликован в 1997 году с периодом упреждения до 2010 года. Необходимо отметить, что хотя данная работа не является полноценным сценарным прогнозом, некоторые элементы её структуры являются основополагающими для всех последующих докладов Global Trends, к примеру, страновой состав рассматриваемых регионов мира.

¹¹ В оригинале «driving forces».

¹² *The Regulations behind liberalisation. The Restraints on technology. The Rules of globalization.*

Работа «Global Trends 2010» по своему объему несопоставимо мала в сравнении с последующими прогнозами, публикуемыми НИС. Сам прогноз доступен широкому читателю лишь в виде веб-страницы, в то время как последующие работы НИС занимают объём более 100 страниц и представлены как в форме электронного документа, так и в форме печатной публикации. Этот прогноз в своей открытой части приводит небольшое количество информации о содержательной части сценариев, чем радикально отличается от последующих работ НИС по данной тематике.

Основные отличия от последующих прогнозов, опубликованных НИС, заключаются в следующем.

Прогноз «Global Trends 2010» ориентирован на восприятие лишь ограниченного круга лиц, включая заказчиков. В нем отсутствуют способы воздействия на читателя и какое-либо специальное графическое оформление.

В докладе отсутствуют указания на хоть сколько-нибудь явные методы построения сценариев. Более того, при разработке было официально заявлено, что «главной целью не было получение обширного списка альтернативных сценариев, хотя они и обсуждались на конференциях» [33].

Global Trends 2010 представляет читателю анализ мирового развития по 6 глобальным трендам, а также прогнозы развития регионов мира, отдельно описывая роль Соединенных Штатов в мировой экономике и геополитике.

Стоит отметить, что для создания прогнозной работы в Университете национальной обороны США¹³ был проведен ряд конференций, в которых принимали участие эксперты из различных институтов, правительства Соединенных Штатов, а также представители из сферы журналистики, бизнеса и других областей. Необходимо отметить, что во всех докладах, разработанных и опубликованных после 2000 года (Global Trends 2010 и последующие), присутствует созданный с использованием технологии сценарного прогнозирования возможный план развития различных регионов мира. Он представляет собой детально проработанную совокупность сценариев, с указанием таких

¹³ *National Defense University.*

величин, как прогнозные значения ВВП, численности населения, доли показателей как конкретной страны, так и целого региона в мировой экономике.

Второй из рассмотренных нами докладов, разработанных NIC, C «Global Trends: 2015» – вышел в свет в 2000 году. В нём более отчетливо проступает методическая составляющая в области сценарного прогнозирования, автором которой является Дэвид Мерсер. Суть данной методики нашло отражение в его статье [23].

Данный доклад стал первым из прогнозных работ NIC, в котором была использована сценарная технология. Кроме того, в данной работе были отмечены следующие новые элементы.

Модифицирован сам процесс сбора информации. Так, если ранее для получения экспертных оценок тех или иных событий или трендов использовались мнения лишь небольшого количества экспертов, работающих в правительственных структурах, то при разработке данного доклада резко возросло число экспертов, участвующих в прогнозной работе, благодаря привлечению ученых из крупных американских университетов и научных центров.

Существенно эволюционировала система сбора информации. В целях создания прогноза многие исследования, являющиеся необходимыми составными частями общего прогнозного материала, были выполнены специалистами из различных внешних организаций. В работе участвовали специалисты из таких университетов, как Джорджтаунский университет, Мэрилендский университет, Международный институт стратегических исследований и разведывательное управление министерства обороны США. Кроме них в работу были включены материалы, предоставленные Рэнд Корпорэйшн (RAND Corporation) и Митре Корпорэйшн (MITRE Corporation).

Немаловажным фактом также является то, что исследования в рамках данного прогнозного документа пока не выходят за пределы одной страны.

Третий из анализируемых нами материалов, разработанных NIC, Sp доклад «Global Trends 2020: Mapping the Global

Future¹⁴» – можно отнести к средствам информационного управления, так как воздействие данного документа на объект его управления носит неявный, косвенный характер и объекту управления представляется специально разработанная создателями документа информационная картина [7].

В докладе «Global Trends 2020: Mapping the Global Future» необходимо отметить ряд изменений в формировании и подаче информации и формировании информационной картины.

Изменение в структуре прогнозного документа и способе подачи информации: драйвера, тренды, ключевые неопределенности и другие, традиционные для предшествующих прогнозных работ НИС элементы, не представляются в качестве отдельных глав в структуре прогнозного документа.

Адаптация текста прогноза для максимально широкого круга читателей (специальным образом изменяется форма подачи читателю возможных сценариев развития будущего).

Значительное развитие графических элементов оформления текста.

Смещение акцента с процесса анализа факторов и значения прогнозных величин на конечный результат этого анализа.

Развитие системы информационного обеспечения.

Поясняя последний пункт особенностей данного прогноза, необходимо отметить расширение информационной сети для сбора данных. С первых же страниц читателя уведомляют, что доклад строился на консультациях, полученных от негосударственных экспертов со всего мира. Данные о проблемах и тенденциях, имеющихся в различных регионах мира, были получены непосредственно от экспертов, работающих в этих регионах. Действительно, ведь оценка, проводимая в пределах одной страны о тенденциях развития другой, весьма удаленной не только в физическом, но и в экономическом плане страны, иногда отличается некоторой предвзятостью. И эта проблема была частично решена, в том числе за счет «конференций с высокой степенью интерактивности» (так называемых workshop's), служивших основой для двух предыдущих прогнозов, которые стали прово-

¹⁴ В русскоязычных источниках: «Глобальные тенденции 2020: Контуры мирового будущего».

даться уже не только в Соединенных Штатах, но и в других странах мира. На базе научных симпозиумов были сформированы нижеследующие конференции, посвященные проблемам отдельных регионов:

- Middle East NIC 2020 Workshop;
- Africa NIC 2020 Workshop;
- Russia & Eurasia NIC 2020 Workshop;
- Asia NIC 2020 Workshop;
- Europe NIC 2020 Workshop;
- Latin America NIC 2020 Workshop.

В работе «Global Trends 2020», в отличие от предшествующего ей прогнозного доклада «Global Trends 2015», анализируются тренды, заранее объединенные в кейсы. Каждый кейс завершает «вымышленный сценарий» (fictional scenario). Критерием такого объединения, по-видимому, служит возможность влияния на тенденцию, определенную в заголовке кейса.

Кроме того, при разработке прогноза Global Trends 2020, помимо корпораций и институтов, уже выполнявших исследования для прошлых работ, был расширен круг приглашенных специалистов в области сценарного прогнозирования. В качестве консультанта был приглашен Гед Дэвис, специалист по сценарной технологии из компании Shell, также в работе принимал участие футуролог Петер Шварц, председатель Глобальных бизнес-сетей (Global Business Network).

Четвертый из анализируемых нами материалов, разработанных NIC и вышедший в 2008 году, «Global Trends 2025: Преобразующийся мир» – имеет незначительные отличия по структуре от своего предшественника. Это объясняется успехом среди мировой аудитории ранее вышедшего доклада Global Trends 2020. Именно эта причина была указана в письме-аннотации председателя NIC Томаса Фингара к данному прогнозу. В нем сказано: «В самом деле, во всем мире реакция на «Глобальные тенденции: 2020» была экстраординарной. Доклад был переведен на несколько языков, рассматривался в государственных учреждениях, обсуждался также на университетских курсах и использовался в качестве отправной точки на общественных встречах по международным вопросам. Доклад обсуждался и конструктивно критиковался многочисленными экспертами и

членами общественности» [32]. Можно указать на следующие отличия в последних рассматриваемых нами материалах NIC, способствующие самореализации прогноза:

Одной из особенностей подготовки доклада: «Global Trends 2025: A Transformed World» стало широкое использование сети Интернет для коммуникации между экспертами из различных стран. Таким образом, появилась возможность быстрого обсуждения различных вопросов в режиме онлайн без значительных затрат на создание международной конференции.

Возросло количество факторов, подвергающихся анализу.

Так называемые «вымышленные сценарии» в докладе «Global Trends 2020» заменены в новой работе на «Глобальные сценарии», которые стали более конкретизированы и уже не выглядят настолько вымышленными. Это способствует большей правдоподобности созданных сценариев, а также формирует у читателя доверие к этим материалам.

В последнем из рассматриваемых нами прогнозных документов NIC «Global Trends 2030», разработанном в 2012 году, можно отметить значительные отличия в содержательной части работы от предшествующих ему по времени сценарных прогнозов Royal Dutch Shell. Рассмотрим эти изменения в данном прогнозе с целью выявления инструментальных новаций создания прогнозного документа, которые способствовали его преобразованию в форсайт.

Состав движущих сил значительно расширился: они разделены на две большие группы – мегатренды и геймчейнджеры. Также особо выделены мировые геополитические центры. Необходимо отдельно отметить тот факт, что, на наш взгляд, распределение стран по регионам, а также классификация геополитических центров произведена по новой методике, в которой значительное внимание уделено культурологическому и социальному аспектам. Это можно отметить по формированию южно-азиатского и восточноазиатского регионов.

Мегатренды представлены глобальными тенденциями мирового масштаба, влияющими на весь мир в целом, геймчейнджеры же являются, в основном, следствием влияния мегатрендов на какой-либо геополитический центр. В том числе и технологический прогресс, который выделен в отдельный гейм-

чейнджер, но, тем не менее, является механизмом адаптации к текущим мегатрендам.

Необходимо отметить, что в различных разделах доклада даны сценарии развития для каждого региона мира, а также описаны основные локальные тренды и геймчейнджеры. По нашему мнению, процессы и события, описанные в глобальном прогнозе, являются результатом взаимодействия локальных трендов с общемировыми мегатрендами.

Таким образом, значения элементов глобального прогноза относительно четко определены, это позволяет сделать вывод о том, что если они не подвергнутся некоему внешнему вмешательству, то события в мире будут развиваться по вполне определённом сценарию. Это может быть достигнуто путем использования ряда экономических механизмов, о которых будет сказано ниже, а также различных способов влияния на читателя.

3. Приемы, механизмы воздействия и влияния, выявленные при анализе сценарных прогнозов NIC и Shell и способные содействовать созданию самореализующихся сценарных прогнозов и форсайтов

Отдельно выделим и перечислим приемы, механизмы воздействия и влияния, предназначенные для воздействия на читателей и активных игроков, которые были найдены нами при анализе этих сценарных прогнозов.

Психологические приемы, обеспечивающие самореализацию прогноза. Например: эффект Розенталя, эффект Эдипа, теорема Томаса, Хотторнский эффект. Отмечены в прогнозных материалах [30].

Специальные механизмы влияния самореализующихся прогнозов и форсайтов на экономику различных регионов мира. Отмечены в прогнозных материалах [30].

С целью привлечения внимания читателей к определённым частям текста прогноза, сценарию или же проблеме, рассмотренным в прогнозных материалах, редакторами были использованы следующие приемы. По сути, эти приемы, позволяют управлять вниманием читателя.

Выделение определенных элементов текста прогноза цветовыми маркерами (см., например, [35]).

Использование специального вида графического дизайна. Особенно в последнем на данный момент прогнозе Global Trends 2030. Отмечены в прогнозных материалах [30, 39, 40].

Использование визуальной иллюзии уменьшения объёма той или иной, специально выделенной, части текста прогноза. Например, в прогнозе Global Trends 2025.

Преобразованием определенной текстовой информации в форму рисунков, графиков и таблиц. Например, в прогнозе Global Trends 2030.

Некоторые из данных приемов позволяют создать у читателя иллюзию легкости восприятия ими специально выделенной части текста, как бы минимизируя его усилия по восприятию им текста и потраченного времени на его осмысление.

В целях создания определенной психологической установки (отношения) читателей к содержанию частей текста ее редакторы используют различные литературные приемы. Такие, например, как:

Автоэпиграфы. Перед текстом каждого из альтернативных сценариев редакторы приводят выдержки из статей или эссе. Подобный прием позволяет предварительно формировать отношение читателя к информации, которая взята из наиболее «достоверных» общепризнанных источников. К примеру, сценарий: «Мир без государств» (англ. Nonstate world) из прогнозного материала Global Trends 2030 [30] написан в виде краткого содержания научной книги по истории глобализации. Таким образом, ещё перед прочтением текста этот прием позволяет зафиксировать психологическую установку и сформировать определённый уровень доверия к информации в тексте у читателя.

Аллюзии, которые содержат явные отсылки к различным историческим событиям или же явлениям, широко распространённым в мировой культуре. К примеру, один из сценариев прогнозного материала [30] представлен в виде повестки дня одной из встреч топ-менеджеров в рамках Давосского форума.

Стилизация: художественная часть текста каждого из альтернативных сценариев стилизована под выдержки из различных эссе, книг или текстов публичных выступлений. Например,

в прогнозном материале «Global Trends 2030» [30] при описании возможного сценария Fusion используется стилизация части его текста под публичное выступление известного учёного. Данный прием также позволяет сформировать определённый уровень доверия читателя к тексту.

Рассмотрим инструментальные элементы создания самореализующихся сценарных материалов: психологические приемы, которые обеспечивают самореализацию прогноза.

Такие приемы, обеспечивающие самореализацию прогноза, присутствуют как в работах Global Trends (2020–2030), так и в некоторых последних публикациях Shell, начиная с 2001 года (Global Scenarios 2001–2020 и последующие).

Вполне очевидно, что для успешной самореализации прогноза чрезвычайно важно, чтобы читатели, на которых он ориентирован, должным образом восприняли содержательную часть. Так как, целевой аудиторией работ Global Trends, помимо ЛПР, являются различные сообщества квалифицированных экспертов по всему миру, в том числе непосредственно вовлеченные в процесс сбора и первичного анализа данных для этих прогнозов, формирование у них определенной установки на восприятие событий в мире, способствующей самореализации данных прогнозов, представляется весьма сложной задачей.

Ряд приведенных ниже приемов и эффектов, которые специалисты Shell и NIS используют в своих прогнозах, позволяет значительно облегчить эту задачу.

В целях лучшего восприятия и запоминания читателем прогнозных материалов, разработанных NIS США, ее редакторы используют реминисценцию как сознательный приём, рассчитанный на ассоциативное восприятие и память читателя:

При описании текста сценария. В докладе Global Trends 2030 после описания сценария «Джин из бутылки» приведены рассуждения о теории Карла Маркса в форме эссе, в котором описано, какое развитие она получит к 21 веку, если мир будет развиваться по данному сценарию, и какие будут последствия.

При формировании структуры материала. В тексте прогнозов NIS можно заметить множество отсылок, как к различным литературным произведениям, так и к элементам дизайна, существенным только для определенного региона мира или даже

страны. При этом производится заимствование не столько из произведений художественной литературы, сколько из деловой переписки и из научных или околонучных работ.

На наш взгляд, авторы активно используют «эффект Эдипа», относящийся к предсказанию хода развития событий. Эффект, суть которого состоит в том, что знание о будущем может изменять само будущее. Суть здесь, по-видимому, в том, что суждения о будущем, высказанные достаточно авторитетными экспертами, заставляя находящихся у власти представителей ведущих держав мира отнестись к этим суждениям серьезно, вдумчиво, прислушаться и изменить глобальную стратегию государств на перспективу. В такой трактовке этот эффект был описан Карлом Раймундом Поппером для обозначения влияния предсказания (или пророчества) на предсказанное событие, независимо от того, способствует ли оно его появлению или предотвращению [4].

Кроме того, в прогнозных материалах как Royal Dutch Shell, так и NIS были использованы:

1. Эффект Розенталя [5] или эффект «Пигмалиона». Использовался, например, в *Global Trends 2030: Alternative Worlds* [30]. Этот эффект, а по сути, психологический феномен, заключается в том, что ожидания личностью реализации пророчества во многом определяют характер её действий и интерпретацию ею реакций окружающих, что и провоцирует самоосуществление пророчества. Это один из факторов, угрожающих внутренней валидности. Может проявиться на любой стадии исследования и в любой науке: и при проведении процедуры эксперимента, и при обработке результатов, и при интерпретации результатов исследования, и т.д. Американский психолог Р. Розенталь (Robert Rosenthal) назвал данное явление «эффектом Пигмалиона», проводя параллель с этим персонажем древнегреческой мифологии.

2. Теорема Томаса следующим образом рассматривает феномен социального взаимодействия [2]. Если человек определяет ситуацию как реальную, то она станет реальной по своим последствиям. Например, если вкладчики боятся, что их банк прогорит, и поэтому забирают свои деньги, то банк действительно

прогорит¹⁵. Использовался, например, в *Global Trends 2030: Alternative Worlds*, 2012 [30].

Далее рассмотрим специализированные инструментальные элементы, позволяющие заказчику прогнозных документов косвенно влиять на экономику тех или иных регионов мира.

Из рассмотренной в первом разделе данной статьи динамики изменений, вносимых в каждый новый доклад, можно получить представление о методах влияния форсайтных и самореализующихся прогнозов на мировые экономические и политические процессы.

Вне всяких сомнений, первый же доклад, для составления которого были привлечены рабочие группы со всего мира (*Global Trends 2020*), стал весьма успешным и популярным, получив широкое распространение в мировом сообществе. В приведенном выше письме-аннотации Томаса Фингара к докладу «*Global Trends 2025: Преобразующийся мир*», он высказывает мысль о том, что этот прогноз «становился поворотной точкой в принятии решений о встречах международного уровня по тем или иным вопросам». Таким образом, не последнюю роль в реализации самореализующегося прогноза играет доверие активных участников, вовлеченных в процесс реализации этого прогноза. Чтобы принимать решения, основанные на приводимых в докладах утверждениях, ЛППР должно быть уверено в их достоверности. При рассмотрении доклада «*Global Trends 2030*» были использованы некоторые инструменты и возможности социального влияния, эффектами которого создатели прогноза с успехом пользуются.

Учитывая то, что содержание предыдущих прогнозов *Global Trends* весьма правдоподобно, у мировой общественности нет оснований считать, что новый прогноз не будет качественным, и, таким образом, на него можно будет положиться при принятии решений.

Отметим также, что широкое вовлечение в работу региональных экспертов со всего мира также играет не последнюю

¹⁵ Другим ярким примером социального взаимодействия, описанного теоремой Томаса, является «Кризис туалетной бумаги» в начале 70-х годов в США (*Toiletpapercrisis*).

роль в доверии к результатам исследований. В каждом регионе имеется уже сложившийся контингент ученых, людей с мировым именем, мнение которых внутри региона ценится и уважается. Именно поэтому принятое создателями докладов Global Trends распределение экспертов на «рабочие группы» (Workshops) оказалась удачной. В связи с этим может возникнуть следующее умозаключение.

Предположим, что некий компетентный в своей области эксперт принимает участие в исследовании наряду с другими экспертами, которых он знает и с мнением которых считается. Если этот эксперт видит, что его идеи и мнения наравне с этими экспертами оцениваются, обсуждаются и принимаются, а после закладываются в базу для дальнейших разработок, у него есть все основания быть уверенным в правдоподобности конечных результатов исследования. Кроме того, он полагает, что в основе всего лежат, в том числе, и его труды и умозаключения, а также труды коллег, которые он сам в процессе работы обсуждал и оценивал.

Выявленные нами в ряде докладов Global Trends механизмы опосредованного влияния на экономику, как отдельных регионов, так и всего мира, на наш взгляд, позволяют судить о самореализующемся характере данных прогнозов.

Так же, как и вышеприведенные приемы и механизмы воздействия на читателя корректируют восприятие читателем текста прогноза, приведенные в самореализующихся прогнозах и форсайтах механизмы влияния на экономические и политические процессы в странах и регионах опосредованно способны корректировать динамику развития экономики страны.

Механизмы опосредованного влияния на экономические и политические процессы в странах и регионах реализуются путем предоставления ЛПР, а также ряду экспертов большого количества специально подготовленной прогнозной информации и учетом ими этой информации. Такие механизмы являются довольно эффективными. Ведь в каждой стране строят планы развития, рассчитывают плановые и прогнозные величины тех или иных количественных и качественных показателей. Конечно, маловероятно, что данные из американских прогнозов напрямую используются для планирования развития региона на годы вперед, однако их могут

использовать, например, в качестве контрольных величин для сравнения. Учитывая, что доклады «Global Trends» обсуждаются на государственном уровне, рассматриваются и оцениваются, вполне можно предположить, что те люди, которые заняты расчетами прогнозных величин на следующий год и знакомы с содержанием «Глобальных тенденций» на этот период времени, будут неосознанно сравнивать величины, полученные путем их расчетов, с величинами уже рассчитанными. Весьма логично, что компании и учреждения, создающие долгосрочные сценарии развития, нуждаются в базе для анализа и сравнения. Такой базой фактически выступают доклады Global Trends и Global Scenarios, предоставляющие большой объем правдоподобной информации. И она может быть заложена компаниями в основу создания планов собственного развития.

Опосредованное влияние на решения, которые принимает ЛПР, реализуется путем формирования у него информационной картины будущего и ряда возможных вариантов его развития. При этом подразумевается, что если ЛПР сочтет достаточно правдоподобной специально подготовленную и представленную ему прогнозную информацию, то он может принять такое решение, которое позволит достичь наиболее выгодного, на его взгляд, варианта развития. Можно сделать предположение, что спрогнозировав возрастающую напряженность, к примеру, в странах Африки и описав негативные последствия таких событий (подкрепив это реальным повышением цен на нефть, что и происходит в настоящее время), можно стимулировать страны к сотрудничеству между собой и принятию решения для предотвращения таких событий в будущем.

Размах сети вовлечения региональных экспертов был довольно детально рассмотрен выше. Остается добавить, что деятельность людей, высказывающих свои идеи о происходящих событиях в своей стране и странах-соседях, не ограничивается участием только в одном проекте. Они точно так же описывают эти же события в институтах, в интервью, на конференциях внутри своей страны. Предлагают те же пути решения выявленных проблем. Только теперь их точка зрения включает и мнения коллег, и мнения специалистов-создателей самореализующихся прогнозов. Таким образом, их мнение косвенно влияет на реше-

ния, принимаемые как в пределах одной страны, так и целого региона. А ведь количество вовлеченных экспертов довольно велико.

Нами были выявлены следующие инструменты повышения качества прогнозов типа Global Trends, касающиеся информационного обеспечения процесса их создания:

1. Получение более качественной информации после обработки как входящей, так и исходящей информации.
2. Увеличение объема охвата информационной сети для получения большего объема прогнозной информации.
3. Увеличение количества анализируемой информации в процессе разработки прогнозных материалов.
4. Минимизация временных, финансовых и иных затрат, связанных с получением, обработкой и подачей информации, а также с обеспечением доверительного отношения к ней.

Анализируя рассматриваемые выше прогнозные документы, можно заметить, что они базируются не на математических моделях, а на экспертных оценках. В частности, при ранжировании трендов. Таким образом, одной из задач, вставшей перед американскими специалистами, была задача повышения качества, необходимых им экспертных оценок. Первоначально в середине девяностых годов при создании прогноза с периодом упреждения до 2010 года для этого были приглашены различные специалисты из американских университетов, что позволило увеличить число задействованных экспертов и соразмерно увеличить количество оценок, а, следовательно, увеличить число идей для создания сценариев.

Следующим шагом было проведение ряда международных конференций на различных континентах с привлечением экспертов из всех описанных в прогнозе регионах мира.

В результате была получена уникальная система по сбору и анализу информации: эксперты из различных стран мира обсуждали на конференциях различные экономические явления в различных мировых регионах, а также давали им оценки, далее, в свою очередь, американские учёные обсуждали и давали оценку этим же явлениям, после чего данные собирались и обрабатывались экспертами NIC, после чего результат их работы публиковался в соответствующей брошюре. Необходимо отметить, что

высокая прозрачность данной системы получения информации позволяет собирать, а впоследствии и обрабатывать большие объёмы данных без привлечения излишнего внимания со стороны, так как закрытой является лишь её аналитический блок, в то время как обширная сеть сбора и первичной обработки данных является полностью открытой. Данная система сбора информации позволяет, по нашему мнению, минимизировать влияние различных способов мышления и получить на стыке этих трёх точек зрения оценку, максимально объективную оценку.

Более того, тот факт, что данное исследование на настоящий момент фактически выведено на аутсорсинг и стремится охватить максимально большое число компетентных экспертов по всему миру, в частности и из России, говорит о том, что вполне вероятно, оно является самореализующимся прогнозом, работающим на интересы Соединённых Штатов.

В то же время, общая прозрачность процедуры сбора данных, а также сравнительно высокое качество данных прогнозов, не позволяет заподозрить разработчиков их в манипуляции мнениями ЛПР и экспертов, пользующихся ими, что делает данные прогнозы весьма эффективными способами управления экономическими и политическими процессами в ряде стран и регионов мира.

Российским исследователям, занимающимся системами поддержки стратегического и территориального планирования на федеральном и региональном уровнях, необходимо обратить внимание на использование инструментов, описываемых в обзоре.

Для будущих исследований путей и средств информационного управления, использующих самореализующиеся прогнозные технологии и форсайты, необходимо рассмотреть ряд слабо проработанных, но чрезвычайно важных проблем, которые вызывают у исследователей серьезные затруднения.

Среди прочих можно указать на несовместимость истинности высказываний о будущих случайных событиях со свободой человека, понимаемой как отрицания фатальности будущего (Доктрина логического фатализма). Существует по крайней мере десять подходов к решению этой проблемы [6]. На наш взгляд, перспективным является использование модально-

временной логики, моделируемой на временных структурах, линейных в прошлое и ветвящихся в будущее. Ветвление времени в будущее означает, что ход истории имеет альтернативы, и в каждой точке ветвления субъект, в том числе и коллективный, имеет возможность совершить выбор [6].

Другой, слабо проработанной, но чрезвычайно важной проблемой является эффективный выбор элементов прогнозной технологии, используемых при разработке самореализующиеся прогнозов и форсайтных документов.

Так, например, в прогнозе «Global Scenarios 1998–2020» для повышения уровня качества экспертных оценок используется метод контрольных вопросов. Но данные списки контрольных вопросов, как правило, отбирались авторами интуитивно, и уровень эффективности того или иного списка сильно зависел от компетентности эксперта, его составляющего. Таким образом, с целью повышения эффективности применения метода контрольных вопросов, а также снижения требований к эксперти-составителю списка вопросов, авторами предлагается частично формализовать процедуру создания и формулировки списка контрольных вопросов при помощи интеррогативной логики [3, 8, 27].

4. Заключение

В рамках данной работы были рассмотрены и проанализированы следующие зарубежные прогнозные материалы:

– упорядоченная совокупность Global Trends, разрабатываемых на постоянной основе NIC США (5 докладов общим объемом более 500 страниц);

– упорядоченная совокупность Global Scenarios, разрабатываемых на постоянной основе Royal Dutch Shell (4 доклада общим объемом более 80 страниц).

Мы полагаем, что разработчиками рассмотренных в данной статье прогнозных материалов был сделан серьезный вклад в решение одной из труднейших задач прогностики: разработка сценарной технологии информационного управления будущим.

Необходимо отметить, что упорядоченная совокупность прогнозных материалов Global Trends представляет собой цело-

стное отражение систематического процесса управления будущим со стороны его создателей и заказчиков.

При анализе данных прогнозных документов были выявлены и проанализированы инструментальные элементы, приемы, механизмы воздействия и влияния, которые были использованы разработчиками этих прогнозных материалов с целью повышения эффективности результатов их применения.

В результате нами была предложена первичная группировка выявленных инструментальных элементов, что позволит расширить и упорядочить инструментарий экспертов-разработчиков самореализующихся и форсайтных прогнозов.

Литература

1. БАВАРОВ А.С. *Международно-политическая ситуация, как объект исследования методом сценариев* // Проблемы международных отношений и внешней политики капиталистических государств. – М.: ИМЭМО АН СССР, 1984. – С. 3–12.
2. БОВИНА И.Б. *Представления об элементах процесса группового решения и выбор стратегии* // Мир психологии. Научно-методический журнал. – 1999. – №3. – С. 30–40.
3. ВОЙШВИЛЛО Е.К., ДЕГТЯРЕВ М.Г. *Логика*. – М.: Владос-пресс, 2001. – 528 с.
4. ГЕНДИН А.М. *Социальное прогнозирование в интерпретации Карла Поппера* // Вопросы философии. – 1969. – №4. – С. 111–122.
5. ЗАРОЧЕНЦЕВ К.Д., ХУДЯКОВ А.И. *Экспериментальная психология*: учеб. – М.: Проспект, 2005. – 208 с.
6. КАРПЕНКО А.С. *Фатализм и случайность будущего: логический анализ*. – М.: Наука, 1990. – 214 с.
7. КУЛЬБА В.В., МАЛЮГИН В.Д., ШУБИН А.Н. *Информационное управление: (предпосылки, методы и средства)* // Проблемы управления. – 2003. – №1. – С. 62–67.
8. *Логика высказываний* // Новая философская энциклопедия. – Т. 2.2-е изд., испр. и допол. – М.: Мысль, 2010. – С. 415–418.

9. *Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем* / Под ред. В.Л. Шульца, В.В. Кульбы; Центр исследования проблем безопасности РАН, Ин-т проблем управления им. Трапезникова РАН. – М.: Наука, 2012. В двух книгах. – 662 с.
10. *Нанотехнологии: Форсайт* / Под ред. Н.В. Гапоненко – М.: Современная экономика и право, 2006. – 272 с.
11. **НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г.** *Активный прогноз.* – М.: ИПУ РАН, 2002. – 101 с.
12. **СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В.** *Технология экспертного прогнозирования: Учеб. пособие с грифом УМО Мин. образов. РФ* – М.: Изд-во «Доброе слово», 2004.– 291 с.
13. **СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В.** *Сценарный метод прогнозирования* // Малая Российская энциклопедии прогностики. – М. Изд-во ИНЭС, 2006. – С. 152–160.
14. **СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В.** *Системный анализ технологии экспертного прогнозирования.* – М.: Из-во МАИ-ПРИНТ, 2007. – 348 с.
15. **СИДЕЛЬНИКОВ Ю.В., КАЛМЫКОВ Н.С., ШЕВЫРЕНКОВ М.Ю.** *Использование метода контрольных вопросов в маркетинге* // Вестник Московского авиационного института. – 2013. –Т. 20, №1, – С. 200–207.
16. *Социальная психология– форсайту.* – Учебное пособие для вузов / Под ред. М.Ю. Кондратьева, В.П. Третьяка – М.: Персэ, 2010. – 293 с.
17. **ТРЕТЬЯК В.П.** *Форсайт в вопросах и ответах.* – М.: Языки славянской культуры, 2007.–72 с.
18. **ЦЫГИЧКО В.Н.** *Прогнозирование социально-экономических процессов.* –Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: URSS, 2007. – 238 с.
19. **BERTRAND DE JOUVENEL.** *The Art of Conjecture.* – Weidenfeld & Nicholson; First Edition, 1967. – 307 p.
20. **HELMER O.** *Looking Forward: A Guide to Futures Research.* – Sage Publications, Beverly Hills CA, 1983. – 376 p.
21. **KAHN H.** *On escalation: Metaphors and scenarios.* – New York, 1965. –326 p.

22. KAHN H., WEINER A. *The Year 2000: A Framework for Speculation on the Next Thirty Years*. – The MacMillan Company, 1968. – 432 p.
23. MERCER D. *Scenarios Made Easy // Long Range Planning*. – August 1995. – Vol. 28, №4. – P. 123–124.
24. GLATZEDER B., GOEL V., VON MÜLLER A. *Building Blocks for a Conceptual Framework*. – Springer, 2010. – 380 p.
25. SCHOEMAKER PAUL J.H., CORNELIUS A.J.M. VAN DER HEIJDEN *Integrating Scenarios into Strategic Planning at Royal Dutch/Shell // Planning Review*. – 1992. – Vol. 20(3). – P. 41–46.
26. *Unido technology foresight manual*. Volume 1. Organization and Methods. – Vienna, 2005. – 246 p.
27. WHATELY R. *Elements of Logic*. – B. Fellowes, London, 1831. – 392 p.
28. WILSON D. *Dreaming with Brics: The path to 2050*. – Goldman Sachs, 2003. – 24 p.
29. *Global Trends 2015: A dialogue about the future with nongovernment experts*, 2000, 98 p. – [Электронный ресурс] – URL: http://www.dni.gov/files/documents/Global%20Trends_2015%20Report.pdf (дата обращения: 14.09.2014).
30. *Global Trends 2030: Alternative Worlds*. – 2012. – 160 p. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.dni.gov/files/documents/GlobalTrends_2030.pdf (дата обращения: 14.09.2014).
31. *Global Trends 2020: Mapping the global future*. – 2004. – 123 p. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.dni.gov/files/documents/Global%20Trends_Mapping%20the%20Global%20Future%202020%20Project.pdf (дата обращения: 14.09.2014).
32. *Global Trend 2025: A Transformed World – National Intelligence Council*. – 2008. – 99 p. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.dni.gov/files/documents/Newsroom/Reports%20and%20Pubs/2025_Global_Trends_Final_Report.pdf (дата обращения: 14.09.2014).
33. *Global Trends 2010*. – 1997. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dni.gov/index.php/about/organization/>

- national-intelligence-council-global-trends/global-trends-2010 (дата обращения: 14.09.2014).
34. *Статья от 23.04.2013 корр. ИТАР-ТАСС Лариса Ключниковой: «Лукашенко: Белорусско-российские учения «Запад-2013» не направлены против НАТО».* – [Электронный ресурс]. – URL: <http://itar-tass.com/blizhnee-zarubezhe/615888> (дата обращения: 14.09.2014).
 35. *Цвет влияет на принятие решений.* – [Электронный ресурс]. – URL: <http://itnews.com.ua/analytics/212.html> (дата обращения: 14.09.2014).
 36. *Global Scenariosto 2050.* – 52 p. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://s00.static-shell.com/content/dam/shell/static/future-energy/downloads/shell-scenarios/shell-energy-scenarios2050.pdf> (дата обращения: 14.09.2014).
 37. *New Lens Scenarios (to 2100).* – 92 p. – [Электронный ресурс]. – URL: http://s01.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/Scenarios/Downloads/Scenarios_newdoc.pdf (дата обращения: 14.09.2014).
 38. *Global Scenarios 1995–2020.* – 24 p. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://s02.static-shell.com/content/dam/shell/static/future-energy/downloads/shell-scenarios/shell-global-scenarios19952020.pdf> (дата обращения: 14.09.2014).
 39. *Global Scenariosto 2025.* – 21 p. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell/static/future-energy/downloads/shell-scenarios/shell-global-scenarios2025summary2005.pdf> (дата обращения: 14.09.2014).
 40. *Global Scenarios 2001–2020.* – 50 p. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://s04.static-shell.com/content/dam/shell/static/future-energy/downloads/shell-scenarios/shell-global-scenarios2020peopleandconnections.pdf> (дата обращения: 14.09.2014).
 41. *Signposts – Supplement to Global Scenarios to 2025.* – 28 p. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://s06.static-shell.com/content/dam/shell/static/aboutshell/downloads/our-strategy/shell-global-scenarios/supp-glo-sc.pdf> (дата обращения: 14.09.2014).

42. *Global Scenarios 1992–2020*. – 19 p.– [Электронный ресурс]. – URL: <http://s06.static-shell.com/content/dam/shell/static/future-energy/downloads/shell-scenarios/shell-global-scenarios19922020.pdf> (дата обращения: 14.09.2014).
43. *Global Scenarios 1998–2020*. – 32 p.– [Электронный ресурс]. – URL: <http://s06.static-shell.com/content/dam/shell/static/future-energy/downloads/shell-scenarios/shell-global-scenarios19982020.pdf> (дата обращения: 14.09.2014).

REVIEW OF THE FOREIGN SCENARIO FORECASTS AND FORESIGHTS: TOOLS FOR INFORMATION MANAGEMENT

Sidelnikov Yury, Institute of Control Sciences RAS, Moscow, chief research officer, Dr. Sc., professor (sidelnikovy@mail.ru).

Michael Shalyshkin, Russian Aircraft Corporation MIG, Moscow, engineer-economist (m.shaly@yandex.ru).

Shevyrenkov Maxim, Institute of Control Sciences of RAS, junior researcher, Moscow, (sheverenkov@mail.ru).

Abstract: We provide a survey of foreign scenario forecasts and foresights to identify tools of information management. These tools can also be used in strategic planning support systems at federal and regional levels. We also suggest a list of poorly-developed, but very important problems and point out possible solutions.

Keywords: review of foreign scenario forecasts and foresights, information management tools, strategic planning, modal logic, interrogative logic.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Д.А. Новиковым

Поступила в редакцию 08.07.2014.

Опубликована 30.09.2014.

УДК 004.724.2+004.272.43

ББК 3.9.7.3.02

ПОВЫШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОМЕРНЫХ ТОРОВ

Подлазов В. С.¹

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

Рассмотрен способ сокращения диаметра и повышения пропускной способности пары встречных колец и двух-четырёх пар таких колец в высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных системах с системной сетью на основе многомерного тора. Результат получен за счет изменения только топологии пары колец – за счет превращения их в пару минимальных коммутируемых мультиколец с разными шагами в каждом кольце. Уменьшение диаметра и повышение пропускной способности ведет к значительному сокращению задержек доставки пакетов по сети, состоящей из таких пар колец.

Ключевые слова: высокопроизводительные многопроцессорные вычислительные системы, системные сети, многомерные торы, дуплексные кольца, мультикольца, сеть сервера GEMINI.

1. Введение

Многомерные торы широко применяются для построения системных сетей современных высокопроизводительных параллельных МВС (суперкомпьютеров) [7–9]. В каждом измерении таких торов используется пара встречных симплексных колец – дуплексное кольцо.

Повышение быстродействия тора может быть достигнуто за счет сокращения времени передачи пакетов по кольцам отдель-

¹ Виктор Сергеевич Подлазов, доктор технических наук, доцент (*pod-lazov@ipri.ru*, Москва, ул. Профсоюзная, д.65, тел. (495) 334-78-31).

ных измерений. Время передачи по отдельному кольцу складывается из времен доставки пакетов по кольцу, времени ожидания передачи в это кольцо и времени передачи в кольцо. Время доставки по дуплексному кольцу может быть уменьшено за счет сокращения его диаметра. Время ожидания передачи в дуплексное кольцо (нахождения в очереди к нему) может быть уменьшено за счет повышения его пропускной способности.

Среднее время доставки пакета по кольцу T_0 прямо пропорционально его диаметру D : $T_0 = kD$. Для симплексного кольца $D = N$, а для дуплексного кольца $D = N/2$, где N – это число узлов в кольце. При промежуточной буферизации пакета в каждом узле $k = B/2$ для равномерного распределения длин маршрутов, где $B = b/v$ – длительность передачи пакета, b – длина пакета, а v – скорость передачи по кольцу.

Многомерные торы применяются в первую очередь для сокращения времени доставки пакетов по системной сети и повышения ее пропускной способности за счет пространственного распараллеливания. Так, в суперкомпьютере *Blue Gene* [8] используется 5-мерный тор, в высокоскоростной системной сети Ангара [7] – 4-мерный и в суперкомпьютере *Gemini* [9] – 3-мерный, при числе узлов тора от 1,5 миллионов до десятков и сотен тысяч. Если обозначить число узлов в кольце измерения i ($1 \leq i \leq n$) как N_i , а его диаметр как D_i , то число узлов N в n -торе выражается как

$$N = \prod_{i=1}^n N_i,$$

а его диаметр D – как

$$D = \sum_{i=1}^n D_i.$$

В дуплексных кольцах пакеты удаляются из канала приемниками, а не источниками, как в кольцах с передачей жезла. Как следствие их пропускная способность w больше скорости передачи v , т.е. выражается как $w = cv$ [1–5]. Коэффициент c называется емкостью кольца, а сами кольца являются кратными

Для кольца с передачей жезла $c \approx 1$. Для симплексного кратного кольца $c = 2$. Для дуплексного кратного кольца c зависит от распределения длин маршрутов по кольцу и размеров

очереди пакетов для передачи в каждом узле. При передаче пакетов по кратчайшему маршруту для равномерного распределения длин маршрутов и большой очереди в несколько десятков пакетов достигается $c = 8$ при большом числе узлов [1]. При высокой загрузке кольца (больше $c / 2$) время ожидания передачи в кольцо растет гиперболически и может оказаться больше времен доставки пакетов по кольцу. Поэтому повышение c может дать существенное сокращение общего времени передачи пакетов.

Задача повышения быстродействия системной сети является постоянно актуальной, особенно в связи с постоянным ростом числа и производительности процессоров в узлах суперкомпьютеров и растущими требованиями к характеристикам системной сети. Для многомерного тора ее можно дополнительно решать за счет сокращения диаметров колец разных измерений и повышения их пропускной способности. Последняя задача обычно решается за счет увеличения числа колец в каждом измерении [9] и/или повышения числа измерений [7, 8].

В данной работе ставится и решается задача повышения быстродействия колец каждого измерения тора за счет сокращения их диаметра и повышения пропускной способности. Обе эти цели достигаются **только** за счет изменения топологии пар колец каждого измерения **без увеличения** числа портов узлов, используемых для подсоединения к кольцам. Для этого каждое дуплексное кольцо заменяется на минимальное коммутируемое мультикольцо, в котором изменены только соседи в парах колец. При этом число дуплексных портов M_i , используемых для включения узлов в кольца i -го измерения, остается неизменным по сравнению с дуплексными кольцами. При наличии в i -м измерении m_i дуплексных колец $M_i = 2m_i$. Рассматривается ряд модификаций этих мультиколец при разном числе портов в узлах, которые обеспечивают нелинейный рост пропускной способности при увеличении числа портов.

2. Коммутируемые мультикольца

Мультикольцом мы называем обычное симплексное кольцо с одинаковым набором хордовых дуг разной длины, проведенных из каждого узла. Коммутируемым мультикольцом мы назы-

ваем мультикольцо, в котором пакеты могут передаваться из любого узла по любой дуге. Минимальным мультикольцом мы называем мультикольцо, в котором набор хордовых дуг содержит только одну дугу.

На рис. 1 приведен пример минимального коммутируемого мультикольца с 9 узлами и с хордовой дугой длины 4. Для краткости минимальное коммутируемое мультикольцо обозначим как МКМ.

В остальной части работы мы будем использовать определение мультикольца как набора колец с разными шагами [1, 2]. Формально это можно выразить следующим образом.

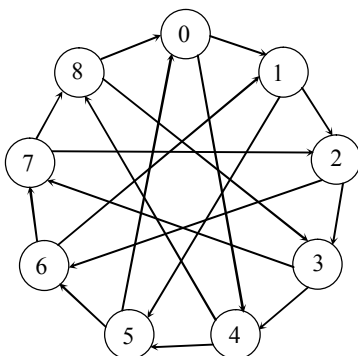


Рис. 1. МКМ $\{9, (1, 4)\}$

Предположим, что узлы перенумерованы целыми числами из $[0, N - 1]$, где N – число узлов. Пусть мультикольцо состоит из $m \geq 1$ колец. В j -м кольце номера узлов образуют последовательность

$${}^j X_{i+1} = ({}^j X_i + {}^j S) \bmod N,$$

где $X_i \in [0, N - 1]$ ($i = 0, 1, \dots$) и ${}^j S > 0$ – шаг j -го кольца ($1 \leq j \leq m$). Мультикольцо задается набором шагов $S_m = ({}^1 S = 1, {}^2 S, \dots, {}^m S)$, где ${}^1 S < {}^2 S < \dots < {}^m S$ и обозначается как $\{N, S_m\}$.

Кольцо с положительным шагом ${}^j S \geq N/2$ будем также называть встречным кольцом с отрицательным шагом ${}^j S = -(N - S)$. Пример мультикольца на 9 узлов из двух колец с набором шагов $S_2 = (1, 4)$ приводится на рис. 1. При обратном направлении хор-

довых дуг это было бы мультикольцо $S_2 = (1, 5) = (1, -4)$. В дальнейшем кольцо с шагом jS будем называть кольцом jS , а его дугу – дугой jS .

Будем различать два вида колец – обычные и расщепленные. Обычное кольцо имеет взаимно простые N и jS . В расщепленном кольце N и jS имеют наибольший общий делитель d , и последовательность X_i разделяется на d непересекающихся последовательностей jX_i с периодом N/d ($0 \leq j \leq d-1$, ${}^jX_0 = j$), которые в совокупности содержат все номера из $[0, N-1]$. Физически расщепленное кольцо состоит из d миниколец по N/d узлов в каждом.

3. Маршрутизация и диаметр

Минимальное коммутируемое мультикольцо (МКМ) с N узлами является мультикольцом $\{N, (1, p)\}$, где $2 \leq p \leq \lfloor N/2 \rfloor$.

Рассмотрим маршрутизацию некоторого пакета по МКМ, считая $p = \lfloor N/n \rfloor$. Длиной маршрута L является разница номеров (по модулю N) приемника и источника пакета. Выразим L как $L = Rp + r$, где $R = \lfloor L/p \rfloor$ и $0 \leq R \leq n-1$, а $0 \leq r \leq p-1$. Этапом маршрута назовем переход по дуге некоторого кольца.

Пусть сначала N и p взаимно просты. Маршрут длины L состоит из R последовательных этапов по кольцу p и r последовательных этапов по кольцу 1. Маршрут может начинаться с любого кольца. Однако маршруты всех пакетов должны начинаться с одного и того же кольца, иначе возможно возникновение маршрутных тупиков из-за циклической зависимости маршрутов по дугам.

Пусть теперь N и p имеют общий делитель. В этом случае мы рассматривает только МКМ с $N = np$, в котором кольцо p состоит из n миниколец по p узлов каждое. Здесь маршрут содержит R последовательных этапов по миникольцу, содержащему узел-источник, если маршрут начинается с кольца p , и по миникольцу, содержащему узел-приемник, если маршрут начинается с кольца 1.

При описанной маршрутизации диаметр МКМ выражается как $D = n + p - 2$, что существенно меньше, чем у дуплексного

кольца, в котором $D = N/2$. Несмотря на меньший диаметр, МКМ является несимметричной по задержкам сетью при обменах пакетами в произвольной паре узлов. Этот недостаток можно устранить при увеличении числа портов абонентов, т.е. при увеличении числа колец.

Если число дуплексных портов в каждом измерении больше 2, возможно дальнейшее уменьшение диаметра каждого измерения. Так в [9] все измерения содержит не менее двух дуплексных колец, т.е. число дуплексных портов $m_i \geq 4$. Если $m_i = 4$, то можно использовать дуплексное МКМ (ДМКМ), состоящее из двух встречных МКМ, и маршрутизацию в нем осуществлять по кратчайшему пути. ДМКМ является симметричной сетью.

Рассмотрим маршрутизацию в ДМКМ при условии, что n и p являются четными и $N = np$. Здесь L выражается опять как $L = Rp + r$, однако числа этапов задаются другими ограничениями: $-n/2 \leq R \leq n/2$, а $-p/2 \leq r \leq p/2$ и задаются по следующему алгоритму.

Если $L < N/2$, то $R = L/p$, если $L > N/2$, то $R = (L - N)p$, иначе $R = \pm N/2$ с равной вероятностью. Сначала случай $L \leq N/2$. Если $l = N - Rp < p/2$, то $r = l$, иначе $r = l - p$ и $R = R + 1$. Теперь случай $L \geq N/2$. Если $l = N + Rp < p/2$, то $r = -l$, иначе $r = p - l$ и $R = R - 1$.

Если $R > 0$, то для передачи пакетов используется кольцо p прямого МКМ, в противном случае – кольцо p встречного МКМ. Если $r > 0$, то для передачи пакетов используется кольцо 1 прямого МКМ, в противном случае – кольцо 1 встречного МКМ.

При такой маршрутизации диаметр ДМКМ выражается как $D = (n + p)/2$, что почти вдвое меньше, чем у МКМ

4. Аналитическая модель МКМ

Оценим пропускную способность МКМ в тех же условиях, при которых для дуплексного кольца асимптотически достигается $c = 8$. Это случай такой перегрузки сети, при которой каждый узел имеет пакет для передачи в кольцо всякий раз, когда мимо него проходит по этому кольцу пустой сегмент. В этом случае расчет пропускной способности можно осуществлять по

средним длинам маршрутов [1, 2]. Если предположить, что каждый узел генерирует один пакет для передачи за период равный длительности пакета, то такой режим реализуется при достаточно большой очереди пакетов для передачи.

В модели предполагается передача пакетов постоянной длины в тактовых сегментах, циркулирующих независимо по обоим кольцам МКМ. Любой пакет, маршрут которого имеет $r = 0$, переносится в сегменте(ах) только кольца p , а пакет с $R = 0$ – сегменту(ах) только кольца 1. Пакет с $r \neq 0$ и $R \neq 0$ переносится в сегменте(ах) одного кольца, а затем коммутируется в сегмент другого кольца. Среднее число пакетов, перенесенных в сегменте за один его проход по i -му кольцу, называется его емкостью c_i . Примем для МКМ, что $i = 0$ для кольца 1 и $i = 1$ для кольца p .

Перенос пакета по кольцу может осуществляться прямо или с приостановкой в промежуточных узлах. В первом случае пакет переносится прямо в том сегменте, в который он был передан узлом-источником или узлом, осуществляющим коммутацию в другое кольцо. Во втором случае некоторый промежуточный узел, имеющий пакет для передачи, заменяет пакет в сегменте на свой и заносит чужой пакет в свою очередь пакетов на передачу.

Среднее число пакетов, перенесенных за один оборот сегмента по i -му кольцу при условии наличия пакета для передачи в каждом узле, называется его емкостью c_i . Известно [1, 2], что при прямом переносе пакетов $c_i = N / \bar{L}_i$, где \bar{L}_i – средняя длина (в этапах) части маршрута по i -му кольцу. Число пакетов, доставленных узлам-приемникам за один оборот сегмента по i -му кольцу, называется его эффективной емкостью \hat{c}_i . Очевидно, что $\hat{c}_i \leq c_i$, так как большинство пакетов переносится в сегментах разных колец. Эффективная емкость МКМ составляет $\hat{C} = \hat{c}_0 + \hat{c}_1$. Оценим эти емкости для равномерного распределения длин маршрутов при прямом переносе пакетов.

Нетрудно видеть, что для кольца 1 имеем

$$\bar{L}_0 = \sum_{k=1}^{p-1} k / (p-1) = p/2 \text{ и } c_0 = 2N/p.$$

Аналогично для кольца p имеем

$$\bar{L}_1 = \sum_{k=1}^{n-1} k / (n-1) = n/2 \text{ и } c_1 = 2N/n.$$

Расчет эффективной емкости зависит от выбора первого кольца для передачи пакетов с маршрутами по двум кольцам и от соотношения n и p .

Пусть первым является кольцо 1. На передачу по нему в среднем претендует $(p-1)$ 1-кольцевых пакетов ($c \neq 0$ и $R = 0$) и $(N-n-p+1)$ 2-кольцевых пакетов ($c \neq 0$ и $R \neq 0$). Их доля составляет $q_0 = (p-1)/(N-n)$ и $Q_0 = (N-n-p+1)/(N-n)$ соответственно. Первые доставляются к приемникам, и их среднее число выражается как $c_0 q_0 = 2N(p-1)/[(N-n)p]$ и задает эффективную емкость кольца 1 $\hat{c}_0 = c_0 q_0$. Вторые коммутируются в кольцо p , и их среднее число составляет величину $c_0 Q_0 = 2N/p - 2N(p-1)/[(N-n)p]$.

На передачу по кольцу p в среднем претендует $(n-1)$ 1-кольцевых пакетов ($c = 0$ и $R \neq 0$) и скомутированные 2-кольцевые пакеты ($c \neq 0$ и $R \neq 0$). Их доля составляет $q_1 = (n-1)/(N-p)$ и $Q_1 = (N-n-p+1)/(N-p)$ соответственно. Первые доставляются к приемникам, и их среднее число выражается как $c_1 q_1 = 2N(n-1)/[(N-p)n]$, но составляет только часть эффективной емкости кольца p . Вторые могут быть доставлены приемниками, и их среднее число выражается как

$$c_1 Q_1 = 2N/n - 2N(n-1)/[(N-p)n].$$

Если общее число пакетов, претендующих на передачу по кольцу p , превышает c_1 , то оно всех их пропустить не может, и поэтому $\hat{c}_1 = c_1$, $\hat{c}_0 = c_0 q_0$ и

$$\hat{C} = \hat{c}_0 + \hat{c}_1 = 2N/n + 2N(p-1)/[(N-n)p].$$

Эти формулы выполняются при $c_0 Q_0 + c_1 q_1 \geq c_1$ или $[1/p - (p-1)](N-p)/p \geq [1/n - (n-1)](N-n)/n$. Формально при $N = np$ они упрощаются до $\hat{c}_0 = 2$, $\hat{c}_1 = 2p$, $\hat{C} = 2p + 2$ и $n \geq p$.

В противном случае кольцо p работает с недогрузкой, т.е. нарушаются условия расчета по средним. В этом случае можно указать только нижнюю границу \hat{c}_1 . Она складывается из числа

c_1q_1 пакетов, доставленных прямо по кольцу p , и числа пакетов c_0Q_0 , доставленных после коммутации из кольца 1. Поэтому

$$\hat{c}_1 > c_1q_1 + c_0Q_0, \text{ а}$$

$$\hat{C} > \hat{c}_0 + c_1q_1 + c_0Q_0 = 2N / p + 2N(n-1) / [(N-p)n].$$

При этом сохраняется ограничение $\hat{c}_1 \leq c_1$. Формально при $N = np$ эти неравенства упрощаются до $\hat{C} > 2n + 2$.

Таким образом, при $N = np$ имеем:

$$(1) \quad \hat{C} = 2p + 2 \text{ при } n \geq p,$$

$$(2) \quad \hat{C} > 2n + 2 \text{ при } n < p.$$

Пусть теперь первым является кольцо p . Аналогичные рассуждения приводят при $N = np$ к формулам

$$(3) \quad \hat{C} = 2n + 2 \text{ при } n \leq p,$$

$$(4) \quad \hat{C} > 2p + 2 \text{ при } n > p.$$

5. Имитационная модель

Для исследования свойств МКМ в различных режимах функционирования была создана его имитационная модель. Эта модель в исходном виде имитирует прямой (без приостановок) перенос пакетов постоянной длины в сегментах той же длины при взаимно простых N и p . Сначала сегмент обходит все узлы по одному кольцу (делает полный оборот по кольцу), затем другой сегмент обходит все узлы по другому кольцу. Это повторяется многократно ($K = 10^4$ раз) без очистки сегментов после каждого обхода. В процессе каждого обхода подсчитывается суммарное число доставленных приемникам пакетов по каждому кольцу и по обоим кольцам. После K обходов эти числа усредняются по K и задают эффективные емкости колец и МКМ в целом.

До начала обхода колец каждый узел генерирует 1 пакет с равномерным распределением длин маршрутов. Аналогично каждый узел генерирует 1 пакет после обхода обоих колец. В каждом узле они поступают в конец очередей пакетов для передачи в соответствующие кольца. После обхода первого кольца скоммутированные в другое кольцо пакеты поступают в конец

очереди к этому кольцу в том узле, где произошла коммутация. Для выполнения условий работоспособности аналитической модели размер очереди в имитационной модели берется равным числу тактов моделирования K .

Во втором варианте в кольце p используется p разных сегментов, из которых i -й сегмент ($0 \leq i \leq p - 1$) используется начиная с i -го узла до тех пор, пока номер очередного узла не превысит i . После завершения полного оборота содержимое i -го сегмента переносится в $(i + 1) \bmod p$ сегмент. Этот вариант является промежуточным для перехода к основному варианту с $N = pn$.

В основном (третьем) варианте кольцо p расщепляется на p миникольц с n узлами каждое, в которых используется p независимых сегментов. При этом суммарное число доставленных приемникам пакетов (за K обходов узлов) считается для кольца 1 и каждого миникольца и для всей их совокупности в целом. Усредненное суммарное значение и задает эффективную емкость кольца p .

Рассмотрение этих вариантов потребовалось для проверки правильности имитационной модели в основном варианте. Критерием ее правильности является совпадение значений эффективной емкости МКМ, полученных расчетом по аналитической модели и посредством эксперимента на имитационной модели во всех ее вариантах. Рассмотрим полученные результаты.

Пусть начальным кольцом для 2-кольцевых маршрутов является кольцо 1 и $N = np + 1$. В таблице 1 представлены результаты экспериментов с первым вариантом имитационной модели при четном n . Подчеркнутые значения задают нижнюю границу в области $n < p$. Отметим совпадение значений с точностью до нескольких процентов результатов аналитической и имитационной модели в области $n \geq p$ за исключением случая $p = 2$, где точность составила 15%.

Результаты экспериментов со вторым вариантом имитационной модели оказались очень близкими. При этом необходимо отметить более пульсирующий характер трафика со значительно большими значениями среднеквадратичного отклонения.

Результаты экспериментов с основным (третьим) вариантом имитационной модели представлены в таблице 2 для случая,

когда начальным для передачи является кольцо 1, и в таблице 3 – для случая, когда начальным является кольцо p .

Таблица 1. Эффективная емкость МКМ в первом варианте модели. Начальная передача в кольцо 1

N	n	2	4	6	8	12	16	32	48
17	Имитация	6,4	9,8		5,1				
	Аналитика	<u>6,1</u>	10,5		6,1				
25	Имитация	6,3	12,5	9,9	8	5			
	Аналитика	<u>6,1</u>	<u>10,3</u>	10,3	8,2	6,1			
33	Имитация	6,2	12,3		9,9		5		
	Аналитика	<u>6,1</u>	<u>10,2</u>		10,2		6,1		
49	Имитация	6,1	12,2	17,3	13,7	9,9	8		
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10,2</u>	<u>14,2</u>	14,2	10,2	8,1		
65	Имитация	6,1	12,2		17,6		10	5	
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10,1</u>		18,2		10,1	6	
97	Имитация	6,1	12,1	18,2	24,2	17,7	13,9	8	5
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10,1</u>	<u>14,1</u>	<u>18,2</u>	18,2	14,1	8,1	6

Таблица 2. Эффективная емкость МКМ в основном варианте. Начальная передача в кольцо 1

N	n	2	4	6	8	12	16	32	48
16	Имитация	5,1	10		5,1				
	Аналитика	<u>6</u>	10		6				
24	Имитация	5	11,1	10	8	5			
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>	10	8	6			
32	Имитация	5	11,1		9,9		5		
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>		10		6		
48	Имитация	5	11,1	17,1	14	10	8		
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>	<u>14</u>	14	10	8		
64	Имитация	5	11		18		10	5	
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>		18		10	6	
96	Имитация	5	11	17,1	23	18	14	8	5
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>	<u>14</u>	<u>18</u>	18	14	8	6

Отметим хорошее совпадение результатов аналитической и имитационных моделей в областях точных оценок первой. При этом трафик в основном варианте оказался столь же равномерным, как в первом варианте.

Таблица 3. Эффективная емкость МКМ в основном варианте. Начальная передача в кольцо p

N	n	2	4	6	8	12	16	32	48
16	Имитация	5	10		5,1				
	Аналитика	6	10		<u>6</u>				
24	Имитация	5,1	10	11,2	8,1	5			
	Аналитика	6	10	10	<u>8</u>	<u>6</u>			
32	Имитация	5,1	10		11,1		5		
	Аналитика	6	10		<u>10</u>		<u>6</u>		
48	Имитация	5,1	10	14	17,1	11,1	8,1		
	Аналитика	6	10	14	<u>14</u>	<u>10</u>	<u>8</u>		
64	Имитация	5	10		18		11	5	
	Аналитика	6	10		18		<u>10</u>	<u>6</u>	
96	Имитация	5	10	14	18	23,1	17	8	5
	Аналитика	6	10	14	18	<u>18</u>	<u>14</u>	<u>8</u>	<u>6</u>

Приведенные выше результаты позволяют сделать вывод о достаточной точности имитационной модели, что делает ее основным инструментом дальнейшего исследования свойств МКМ и ДМКМ.

6. Экспериментальные свойства МКМ и ДМКМ

Первое свойство МКМ состоит в том, что в максимальные значения \hat{C} в таблице 2 для любых N находятся при больших или равных значениях n , чем в таблице 3. Отметим, что такие кольца в МКМ требуют меньшего расхода кабеля.

Эксперименты с имитационной моделью показали, что МКМ при прямом переносе пакетов и при переносе с приостановками имеет разные эффективные емкости. При доставке пакетов с приостановкой эффективная емкость снижается на

20÷30%. Такое снижение является следствием увеличения реальной длины маршрутов. Действительно, пусть пакет со случайной длиной e ($1 \leq e \leq p - 1$) приостанавливается после первого этапа. Тогда после приостановки пакета средняя длина \bar{e} его маршрута оказывается больше, чем до приостановки, а именно: $\bar{e} = 1 + (p - 1)/2 > p/2 + 1/2$.

Имитационная модель создавалась сразу для ДМКМ, а все предшествующие исследования проводились на ее односторонней половине. Такая нацеленность объясняется ожиданием [1], что эффективная емкость увеличится более чем в 2 раза при совместном использовании встречных МКМ. В таблице 4 представлены результаты экспериментов в основном варианте имитационной модели для ДМКМ. Максимальные значения эффективной емкости в них выделены жирным шрифтом.

Таблица 4. Эффективная емкость ДМКМ в основном варианте. Начальная передача в кольцо 1

N/n	2	4	6	8	12	16	32	48	64
16	15	16		13,3					
24	15,7	24	24	19,7	14,2				
32	16	31		29,3		14,5			
48	16,4	32,3	47	45,3	30,9	21,7			
64	16,5	33		60,9		31,6	15,3		
96	16,7	33,7	50	65,8	64,1	48,6	22,8	15,5	
128	16,8	34,1		67		65,6	32,8		15,7

7. Практические ограничения

Для оценки практически достижимых эффективных емкостей МКМ и ДМКМ необходимо ограничить размеры очереди пакетов Q в каждом узле. Имитационное моделирование было проведено для $Q = 10^q$, при $q = 0, 1/2, 1, 2, 3, 4$. Полученные при таком моделировании эффективные емкости обозначим \hat{C}_q . В предыдущем разделе фактически рассматривались значения \hat{C}_4 , полученные в различных вариантах функционирования модели.

Рассмотрим величину отношения $\rho_q = \hat{C}_q / \hat{C}_4$ для условий таблицы 3 и таблицы 4 и тех N в них, при которых \hat{C}_q достигает максимальных значений.

Таблица 5. Значения отношений емкостей $\rho_q = \hat{C}_q / \hat{C}_4$ для МКМ

N	16	24	32	48	64	96
$q = 2$	0,99	0,83	0,8	0,79	0,99	0,75
$q = 1$	0,93	0,83	0,79	0,78	0,96	0,75
$q = 0,5$	0,86	0,83	0,8	0,78	0,9	0,75
$q = 0$	0,73	0,76	0,77	0,78	0,82	0,73

В таблице 5 приводятся значений ρ_q при разных N для МКМ, а в таблице 6 – для ДМКМ. Видно, что при $Q = 3$ ($q = 1/2$) имеет место приемлемое для практики уменьшение значений эффективных емкостей.

Таблица 6. Значения отношений емкостей $\rho_q = \hat{C}_q / \hat{C}_4$ для ДМКМ

N	16	24	32	48	64	96
$q = 2$	1	1	0,99	1	0,99	0,96
$q = 1$	1	1	0,94	0,93	0,87	0,92
$q = 0,5$	0,96	0,92	0,82	0,77	0,72	0,82
$q = 0$	0,74	0,68	0,62	0,57	0,54	0,64

8. Сравнительные характеристики

Сравним полученные характеристики для МКМ и дуплексного кольца (ДК) и дуплексного МКМ (ДМКМ) и пары дуплексных колец (ПДК).

Сначала сравним их диаметры $D_{МКМ}$, $D_{ДМКМ}$ и $D_{ДК}$. На рис. 2 приводятся значения отношений $\alpha = D_{ДК} / D_{МКМ}$ и $\beta = D_{ДК} / D_{ДМКМ}$ с учетом того $D_{ДК} = D_{ПДК}$. Видно, что в практически важном диапазоне $16 \leq N \leq 64$ имеет место уменьшение диаметра МКМ в $1,3 \div 2,3$ раза и диаметра ДМКМ – в $2 \div 4$ раза.

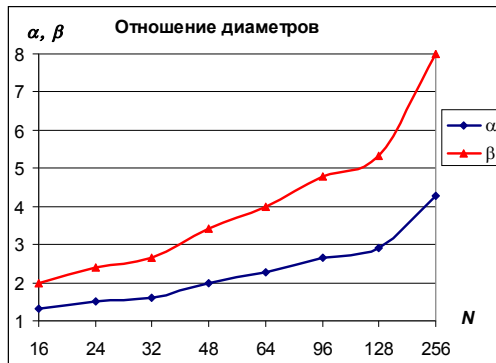


Рис. 1. Отношения диаметров $\alpha = D_{\text{ДК}}/D_{\text{МКМ}}$ и $\beta = D_{\text{ДК}}/D_{\text{ДМКМ}}$

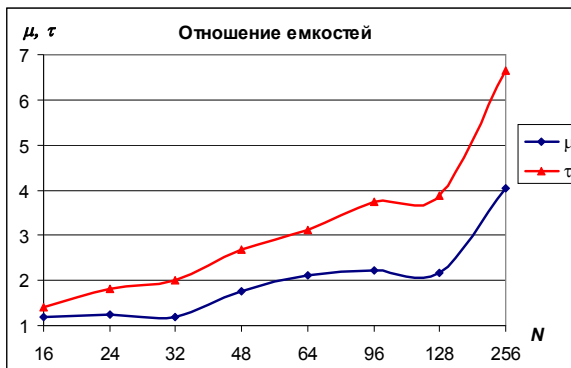


Рис. 2. Отношения эффективных емкостей $\mu = \hat{C}_{\text{МКМ}}/\hat{C}_{\text{ДК}}$ и $\tau = \hat{C}_{\text{ДМКМ}}/\hat{C}_{\text{ПДК}}$ при $Q = 3$

Теперь сравним их пропускные способности, заданные максимальными эффективными емкостями. На рис. 3 приводятся значения отношений $\mu = \hat{C}_{\text{МКМ}}/\hat{C}_{\text{ДК}}$ (таблица 3) и $\tau = \hat{C}_{\text{ДМКМ}}/\hat{C}_{\text{ПДК}}$ (таблица 4) для $Q = 3$ ($q = 1/2$). При этом значения $\hat{C}_{\text{ДК}}$ и $\hat{C}_{\text{ПДК}}$ получены также в имитационной модели для $q = 1$. Видно, что в практически важном диапазоне $16 \leq N \leq 64$ имеет место увеличение пропускной способности МКМ в $1,2 \div 2,1$ раза и пропускной способности ДМКМ – в $1,4 \div 3,1$ раза.

Известно [3], что в модели $M/G/1$ теории массового обслуживания зависимость задержки передачи пакета $T(s)$ от загрузки кольца s для симплексного кратного кольца имеет вид

$$(5) \quad T(s) = F/(c - s).$$

Здесь s – загрузка кольца $s = \lambda B$, где λ (c^{-1}) – суммарная интенсивность генерации пакетов, $B = b/v$ (c) – средняя длительность пакета, а b (бит) – средняя длина пакета. Функция $F(s, b, d)$ (c) зависит от загрузки s и ее дисперсии, средней длины пакетов b и ее дисперсии d , но не зависит от емкости c . В формуле (5) емкость кольца задает положение вертикальной асимптоты гиперболической зависимости роста задержки от загрузки. При высокой загрузке ($s > 0,7 c$) увеличение емкости в $1,5 \div 2$ раза приводит к уменьшению задержки передачи в несколько раз.

При равномерной загрузке узлов знаменатель формулы (5) можно выразить как $N(\gamma - \sigma)$, где $\gamma = c/N$ – удельная емкость, $\sigma = \lambda B$ – удельная загрузка и λ – интенсивность генерации пакетов узлом. Тогда однородную многокольцевую сеть удобно характеризовать вектором $\Gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$, где γ_i – удельная емкость кольца i ($1 \leq i \leq m$) и m – число проходящих через каждый узел колец, и вектором $P = (\rho_1, \dots, \rho_m)$, где ρ_i – доля пакетов, передаваемых по кольцу i . Тогда емкость сети C можно оценить как

$$C = R(\Gamma P) = R \sum_{i=1}^m \gamma_i \rho_i,$$

где R – число узлов в сети.

По аналогии можно предположить, что для МКМ и ДМКМ зависимость $T(s)$ имеет такой же вид с заменой емкости кольца c на эффективную емкость мультикольца \hat{C} . Поэтому можно сделать вывод, что оба отмеченных фактора преимущества МКМ над ДК и ДМКМ над ПДК по совокупности приводят к сокращению задержек доставки пакетов по системной сети в несколько раз.

9. ДМКМ с разреженными кольцами

В [4, 5] был разработан метод повышения пропускной способности нескольких дуплексных колец (ДК) за счет образова-

ния их них мультикольца с разреженными кольцами. Он опирается на метод инвариантного расширения произвольных сетей с использованием топологии квазиполного графа [5], описываемого симметричными блок-схемами, рассматриваемыми в комбинаторике.

В данном разделе этот метод применяется для ДМКМ вместо ДК. В нем исходная сеть из двух одинаковых ДМКМ с N узлами по 8 портов в каждом преобразуется в сеть ДМКМРК из трёх ДМКМ с разреженными кольцами, содержащую $N_{\text{ДМКМРК}} = 1,5N_{\text{ДМКМ}}$ узлов при неизменном числе портов в узлах. В таблице 7 показан пример вставки узлов в кольца. Топология каждого ДМКМРК задается по **порядковым** номерам узлов в кольцах, а не их сквозными номерами в сети. Это означает, что дуги в кольцах с шагом ± 1 и хорды в кольцах с шагом $\pm p$ прокладываются между узлами, порядковые номера которых различаются на указанный шаг.

Таблица 7. Таблица размещения узлов в кольцах при $N_{\text{ДМКМ}} = 10$, Π – порядковые номера узлов, в ячейках – номера узлов кольца

ДМКМ/ Π	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	3	4	6	7	9	10	12	13	15
2	1	2	4	5	7	8	10	11	13	14
3	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15

Отметим, что представленный подход ориентирован на тор, измерения которого содержат 4 дуплексных кольца с 8 портами в узлах. По сравнению с этой сетью пропускная способность сети ДМКМРК в каждом измерении увеличится в $1,5\tau \hat{C}_{\text{ДМКМ}}(N_{\text{ДМКМ}})/\hat{C}_{\text{ПДК}}(N_{\text{ДМКМРК}})$ раз, где τ берется из графика Рис. 2, а \hat{C} – из таблицы 6. В результате емкость ДМКМРК больше емкости двух ПДК в $1,6\div 3,0$ раз при $24 \leq N_{\text{ДМКМРК}} \leq 96$.

10. Резервы тора Gemini

3-мерный тор суперкомпьютера Gemini [9] имеет в первом измерении 2 одинаковых кольца с $N = 16$ узлами. Во втором и третьем измерениях этот тор содержит по 4 одинаковых дуп-

лексных кольца с $N = 32$ узлами. При этом первое измерение имеет диаметр $D = 8$ и суммарную емкость $\hat{C} \leq 16$. Соответственно, второе и третье измерения имеют $D = 16$ и суммарную емкость каждого $\hat{C} \leq 32$. Отметим, что во всех измерениях удельная емкость $\gamma = \hat{C}/N$ не превосходит 1.

При использовании в первом измерении ДМКМ его диаметр уменьшится до $D = 4$, а суммарная емкость \hat{C} вырастет в $\tau \approx 1,2$ раза, и удельная емкость станет $\gamma \geq 1$. При этом имеется возможность увеличивать число узлов N в несколько раз, обеспечивая пропорциональное повышение емкости \hat{C} и дальнейший рост удельной емкости γ .

Во втором и третьем измерениях можно использовать ДМКМРК. Если его строить с $N_{\text{ДМКМ}} = 24$, то число узлов станет $N_{\text{ДМКМРК}} = 36$. При этом диаметр останется таким же, как в ДМКМ с $N_{\text{ДМКМ}} = 24$, т.е. $D = 5$, а суммарная емкость достигнет $\hat{C}_{\text{ДМКМРК}} = 3\hat{C}_{\text{ДМКМ}} \approx 66$ при $Q = 3$ или $\hat{C}_{\text{ДМКМРК}} = 72$ при $Q = 10$, а удельная емкость – $\gamma \approx 1,8$ или $\gamma = 2$. Отметим значительное улучшение рассматриваемых характеристик по сравнению с исходным вариантом тора *Gemini*.

Во втором и третьем измерениях опять имеется возможность увеличивать $N_{\text{ДМКМРК}}$ в несколько раз, обеспечивая пропорциональное повышение емкости $\hat{C}_{\text{ДМКМРК}}$ с сохранением $\gamma \approx 2$.

Все это вместе взятое не только обеспечивает повышение быстродействия модифицированного тора, но и обеспечивает возможность достижения этого свойства при значительно большем числе узлов.

11. Минимальные и разреженные мультикольца

Интересно сравнить метод построения разреженных мультиколец, примененный в двух предыдущих разделах как метод второго порядка, с прямым методом расширения дуплексных колец с использованием топологии квазиполного графа 4 как методом первого порядка.

Этот метод позволяет расширять m одинаковых дуплексных колец (ДК) с $N_{\text{ДК}}$ абонентами каждое в мультикольцо с разре-

женными кольцами (МКРК) с $N_{\text{МКРК}} = RN_{\text{ДК}}$ абонентами, где $R = m(m - 1) + 1$. Это мультикольцо состоит из R колец, из которых каждое кольцо содержит $N_{\text{ДК}}$ абонентов, т.е. не всех абонентов (разреженное кольцо). Размещение абонентов по кольцам задается топологией простейших мультиколец (ПМК) числом $N_{\text{ДК}}/m$ с топологией квазиполных графов, склеенных в МКРК с топологией расширенного квазиполного графа 6. Для примера таблица 8 задает схему размещения абонентов по кольцам при $N_{\text{ДК}} = 12$ и $m = 4$.

Таблица 8. Таблица размещения абонентов в мультикольце при $N_{\text{ДК}} = 12$ и $m = 4$ (ДК – дуплексные кольца, П – их порты)

ДК/П	1-й ПМК(13,4,1)				2-й ПМК(13,4,1)				3-й ПМК(13,4,1)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	13	11	5	14	26	24	18	27	39	37	31
2	2	1	12	6	15	14	25	19	28	27	38	32
3	3	2	13	7	16	15	26	20	29	28	39	33
4	4	3	1	8	17	16	14	21	30	29	27	34
5	5	4	2	9	18	17	15	22	31	30	28	35
6	6	5	3	10	19	18	16	23	32	31	29	36
7	7	6	4	11	20	19	17	24	33	32	30	37
8	8	7	5	12	21	20	18	25	34	33	31	38
9	9	8	6	13	22	21	19	26	35	34	32	39
10	10	9	7	1	23	22	20	14	36	35	33	27
11	11	10	8	2	24	23	21	15	37	36	34	28
12	12	11	9	3	25	24	22	16	38	37	35	29
13	13	12	10	4	26	25	23	17	39	38	36	30

Пропускная способность мультикольца с разреженными кольцами зависит от его емкости C , которая для равномерного распределения длин маршрутов определяется как $C = N_{\text{ДК}}c_{\text{ДК}}$ и совпадает с эффективной емкостью. Для небольших $N_{\text{ДК}}$ емкость дуплексного кольца $c_{\text{ДК}} < 8$ определяется имитационным моделированием.

В таблице 9 сравниваются характеристики этих двух видов мультиколец. Видно, что использование МКРК (как и ДМКРК) позволяет уменьшить диаметр сети D , увеличить ее пропускную способность сети и число узлов в ней. Видно, что

МКРК имеет преимущество при малых размерах исходных колец, а ДМКМРК – при больших (в два-три раза) их размерах.

Таблица 9. Сравнительные характеристики мультиколец при $m = 4$

МКРК					ДМКМРК				
$N_{ДК}$	8	12	16	20	$N_{ДМКМ}$	24	32	48	64
D	4	6	8	10	D	5	6	7	8
C	82	85	88	92	C	72	93	142	183
$N_{МКРК}$	26	39	52	65	$N_{ДМКМРК}$	36	48	72	96
γ	3,1	2,1	1,7	1,4	γ	2	1,9	2	1,9

12. Заключение

В работе рассмотрен способ сокращения диаметра и повышения пропускной способности пары встречных колец и двух-четырёх пар таких колец. Результат получен за счет изменения только топологии пары колец – за счет превращения их в пару коммутируемых колец с разными шагами в каждом кольце. Уменьшение диаметра и повышение пропускной способности ведет к значительному сокращению задержек доставки пакетов по сети, состоящей из таких пар колец.

Литература

1. АЛЛЕНОВ А.В., ПОДЛАЗОВ В.С., СТЕЦЮРА Г.Г. *Пропускная способность набора кольцевых каналов I. Класс наборов колец. Наборы с простыми узлами* // Автоматика и телемеханика. – 1996. – №3. – С. 135–144.
2. АЛЛЕНОВ А.В., ПОДЛАЗОВ В.С. *Пропускная способность набора кольцевых каналов II. Кольцевые коммутаторы* // Автоматика и телемеханика. – 1996. – №4. – С. 162–172.
3. АНДРЕЕВ Л.В. *Однонаправленные кольцевые сети связи с коммутацией пакетов* // Проблемы передачи информации. – 1982. – Т. 18, вып. 4. – С. 85–103.

4. КАРАВАЙ М.Ф., ПОДЛАЗОВ В.С. *Топологические резервы суперкомпьютерного интерконнекта* // Управление большими системами. – 2013. – №41. – С. 395–423.
5. КАРАВАЙ М.Ф., ПОДЛАЗОВ В.С. *Метод инвариантного расширения системных сетей многопроцессорных вычислительных систем. Идеальная системная сеть* // Автоматика и телемеханика. – 2010. – №10. – С. 166–176.
6. КАРАВАЙ М.Ф., ПОДЛАЗОВ В.С. *Отказоустойчивость через внутреннюю параллельность* // XXII Всероссийское совещание по проблемам управления. – М.: ИПУ, 2014. – С. 7256–7269.
7. МИХЕЕВ В.А. И ДР. *Реализация высокоскоростной сети для суперкомпьютерных систем: проблемы, результаты, развитие.* – [Электронный ресурс]. – URL: http://2013.nscf.ru/TesisAll/Section%201/12_2761_SimonovAS_S1.pdf (дата обращения: 14.09.2014).
8. ПОЗДНЕЕВ А. *Blue Gene/Q: как обуздать массивный параллелизм.* – [Электронный ресурс]. – URL: <http://2013.nscf.ru/Presentations/IBM/AlexanderPozdnev-HowToHarnessMassiveParallelism.pdf> (дата обращения: 14.09.2014).
9. ALVERSON R., ROWETH D. AND KAPLAN L. *The Gemini System Interconnect* // 18th IEEE Symposium on High Performance Interconnects, 2009. – P. 3–87.

BOOSTING PERFORMANCE OF MULTIDIMENSIONAL RINGS

Viktor Podlazov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, assistant professor (podlazov@ipu.ru, Moscow, Profsoyuznaya st., 65, (495)334-78-31).

Abstract. We suggest a technique to boost speed of system networks in massive parallel multiprocessor computers by decreasing diameter and increasing the throughput of single duplex rings, ring tuples and quadruples. The result is due to replacing a duplex ring with a pair of commutable multidimensional rings. The technique provides considerable reduction of ring diameters and increase of ring throughput.

Keywords: massive parallel multiprocessor computer, system area networks, multidimensional rings, duplex rings, multidimensional rings, network of *GEMINI* server.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии С.Г. Куливым*

*Поступила в редакцию 26.06.2014.
Опубликована 30.09.2014.*

УДК 021.8 + 025.1
ББК 78.34

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКОВЫХ ИГР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ПОИСКА СООБЩЕСТВ И ВЛИЯТЕЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Губанов Д. А.¹, Микулич Л. И.², Наумкина Т. С.³
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Представлен метод исследования социальных сетей, основанный на использовании языковых игр. С помощью языковых игр можно решать такие задачи как выявление неявных сообществ или влиятельных агентов. Приведено описание игры в наименования и ее применение для решения этих задач. Описаны результаты исследования как искусственно сгенерированных графов, так и построенных на основе реальных данных. Также приведен краткий обзор других методов выявления сообществ и сравнение их с представленным методом.

Ключевые слова: социальные сети, сообщества, динамика мнений, игра в наименования.

1. Введение

Социальные сети являются объектом исследования уже давно, однако в последние годы интерес к этой теме возрос. Это связано, с одной стороны, с появлением большого объема дан-

¹ Дмитрий Алексеевич Губанов, кандидат технических наук (dmitry.a.g@gmail.com).

² Леонид Ильич Микулич, кандидат технических наук с.н.с. (lmik@ipu.ru).

³ Тамара Сергеевна Наумкина, аспирантка, (tamara.naumkina@gmail.com)

ных для реальных социальных систем (в основном, онлайн-социальных сетей), а с другой стороны – с доступностью и дешевой вычислительных ресурсов. Под социальной сетью понимается социальная структура, состоящая из множества агентов и определенного на нем множества отношений (совокупности связей между агентами). Эти отношения можно представить в виде графа (ориентированного или неориентированного), который обычно называется социальным графом.

Большое количество исследований социальных сетей посвящено выявлению неявных сообществ (т.е. не являющихся известными тематическими группами). Под сообществом мы будем понимать группу узлов, тесно связанных друг с другом и слабо связанными с узлами вне сообщества. Неявные сообщества можно выявить, исследуя топологию социального графа.

Другим предметом исследования социальных сетей является динамика мнений агентов. Мнение – это суждение агента по какому-то вопросу, оценка. Каждый агент обладает своим мнением, но может его менять под воздействием других агентов (соседей по графу). Структура социального графа влияет на динамику мнений. Например, можно предположить, что в сообществах мнения агентов будут одинаковы или близки.

Существует целый ряд моделей для исследования динамики мнений. Рассмотрим одну из них – игру в наименования [2, 3, 23]. (Заметим, что под словом «игра» в данном случае подразумевается не игра в теоретико-игровом смысле, а языковая игра, т.е. набор правил взаимодействия). Эта игра используется прежде всего для моделирования возникновения языка в многоагентных системах и различных языковых явлений, однако также находит и более прикладные применения, в том числе и для исследования социальных сетей. Метод применения игры для выявления сообществ был описан в [14]. Ниже также приведено сравнение этого метода с другими.

В следующем разделе статьи представлено описание игры в наименования. В разделе 3.1 приведен краткий обзор методов выявления сообществ в социальных сетях, описано применение игры в наименования для решения этой задачи и произведено

сравнение методов. В п. 3.2. описано применение игры в наименования для решения другой задачи – выявления влиятельных агентов на примере их выявления в популярной социальной сети. В разделе 4 приведены выводы статьи.

2. Игра в наименования

Игра в наименования – это языковая игра [1], т.е. набор правил взаимодействия, следуя которым агенты решают задачу формирования общего лексикона. Под лексиконом подразумевается соответствие между знаками (сигналами, словами и т.п.) и их значениями (объектами окружающей среды). Агенты попарно взаимодействуют друг с другом, вырабатывая общий язык. В общем виде игра в наименования моделирует не столько возникновение общего языка, сколько вообще процесс согласования чего-либо множеством агентов. Например, эта модель может применяться для выработки общего лексикона среди роботов [21, 22], для описания феномена создания совместных тегов пользователями интернета (collaborative tagging) [6], для моделирования распространения и сосуществования диалектов [24].

Общим свойством игры в наименования, характерным для всех ее модификаций и применений, является то, что соглашение в среде агентов возникает «стихийно», т.е. без внешнего управления, а как результат локальных взаимодействий.

Рассмотрим множество агентов A (размера N), помещенных в среду, в которой расположены также некоторые объекты из множества O (размера M). Агенты могут наблюдать (различать) объекты и обмениваться между собой сигналами. Каждый сигнал – это слово, т.е. последовательность символов из заданного алфавита. Лексикон L – это набор связей между объектами и словами, причем в нем возможна полисемия и синонимия, т.е. одному слову может соответствовать несколько объектов, а одному объекту – несколько слов. У каждого агента a из множества A свой собственный лексикон L_a , изначально пустой. Игра в наименования – это взаимодействие между двумя агентами – говорящим и слушающим (обычно они выбираются случайным

образом из множества A). Взаимодействие происходит следующим образом:

1) говорящий (обычно случайным образом) выбирает объект (o) из множества O и каким-то образом «указывает» на него слушающему;

2) говорящий находит в своем лексиконе слово (w), связанное с объектом o , или, если такого слова нет, сам его составляет из символов заданного алфавита;

3) говорящий передает выбранное слово w слушающему;

4) если слушающему известно это слово w и, согласно его словарю, оно означает тот же объект o , который выбрал говорящий, считается, что взаимодействие прошло успешно, и тогда оба игрока выполняют процедуру корректировки своих лексиконов: и говорящий, и слушающий удаляют из лексиконов все слова, кроме w , соответствующего объекту o ;

5) если же слушающему не известно слово w , взаимодействие заканчивается неудачей, и слушатель добавляет в свой лексикон связь между объектом o и словом w .

Такие локальные взаимодействия повторяются много раз между разными агентами. Цель сообщества агентов – выработать общий лексикон, т.е. максимально «сблизить» лексиконы агентов, тем самым увеличив, насколько возможно, долю успешно закончившихся игр.

Игра в наименования имеет множество вариаций, мы будем рассматривать самую популярную из них – минимальную игру в наименования. В ней лексикон L – это для каждого объекта список слов, ему соответствующих. Отметим, что в других вариациях игры в наименования лексиконы могут быть реализованы по-другому, например, как матрицы вероятностей соответствия слов и объектов [10].

На рис. 1 изображен пример взаимодействий агентов в минимальной игре в наименования.

Для наблюдения за ходом игр в момент времени t (время дискретно и соответствует количеству прошедших игр) используются следующие величины:

– $N_w(t)$ – общее количество слов, известное агентам;

- $S(t)$ – средняя доля успешных игр (за последние n игр);
- $CA(t)$ – коммуникативная точность – вероятность, что игра двух случайно выбранных агентов будет успешна.

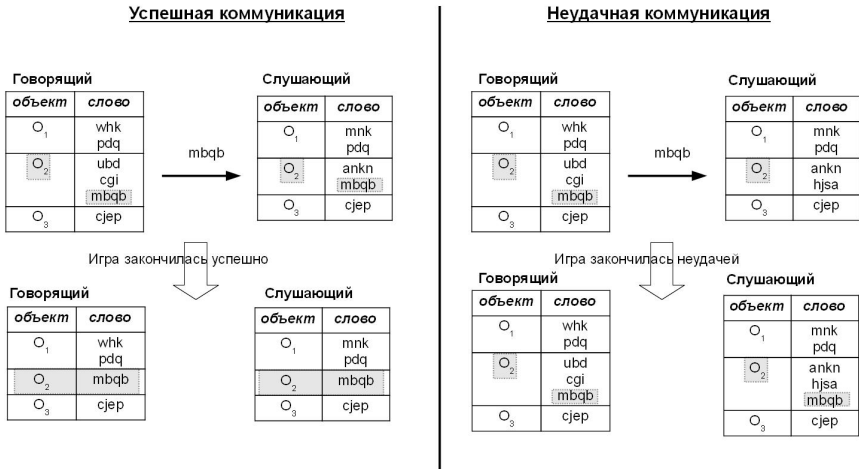


Рис. 1. Пример удачного и неудачного взаимодействия в игре в наименования (в обоих случаях выбран объект O_2)

Лучше всего процесс выработки общего лексикона отражает величина $CA(t)$, но практически ее сложно вычислить (особенно для больших M и N), поэтому чаще используется $S(t)$.

На рис. 2 показаны графики этих величин для нескольких экспериментов. В начальный момент времени лексиконы агентов пусты, поэтому все величины равны 0. Постепенно (после неудачных взаимодействий) агенты вводят слова, и величина N_w растет, пока не достигнет максимума (на рисунке около $t = 100$). Это означает, что у всех агентов сформировались связи для всех объектов. При этом коммуникативная точность (CA) достаточно маленькая, так как чаще всего у взаимодействующих агентов одинаковые объекты обозначают разные слова и игры заканчиваются неудачей. Потом величина N_w идет на убыль – это агенты «договариваются» между собой, какое слово обозначает какой объект (и «забывают» ненужные слова). При этом CA

постепенно растет, пока не достигает 1 (при этом N_w становится равной количеству объектов M). Этот момент времени называется временем сходимости T_c . После достижения времени сходимости все игры заканчиваются удачей и лексикон агентов не меняется.

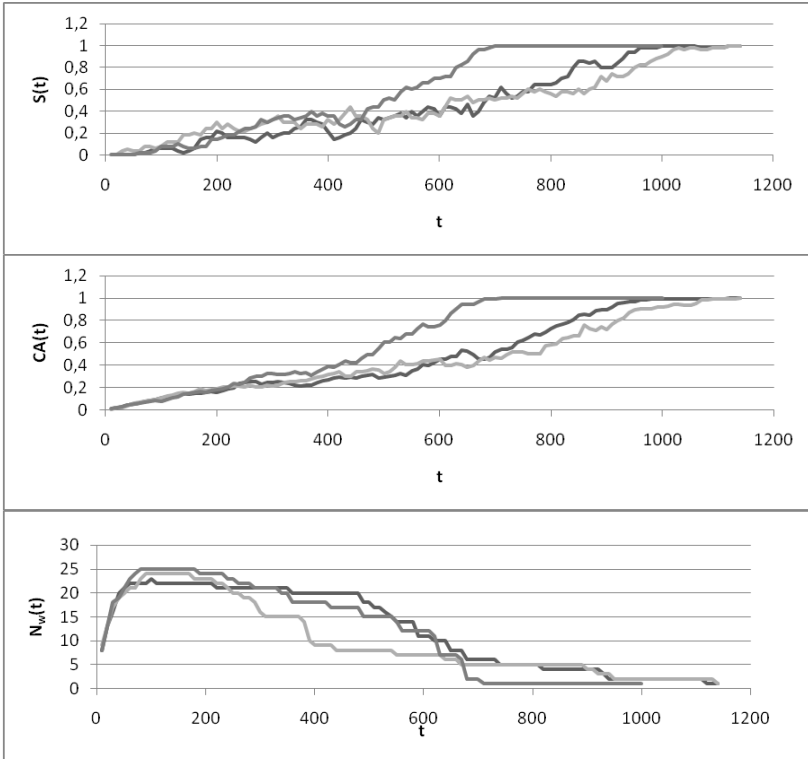


Рис. 2. Средняя доля успешных игр $S(t)$, коммуникативная точность $CA(t)$ и общее число слов $N_w(t)$ для трех экспериментов для $N = 50$ (количество агентов), $M = 1$ (количество объектов)

Игра в наименования имеет множество модификаций: агенты могут быть расположены на графе или на плоскости, количество агентов может меняться в процессе игры, сигналы могут

искажаться при передаче и т.п. Важной особенностью игры является то, что в большинстве случаев (в большом диапазоне исходных данных) последовательность игр приводит к формированию общего лексикона.

3. Применение игры в наименования для исследования социальных сетей

Будем рассматривать социальную сеть как граф, в котором агенты находятся в вершинах, а взаимодействие между ними осуществляется только тогда, когда между соответствующими вершинами есть ребра.

Лексикон, т.е. соответствие «слово – объект», можно интерпретировать как мнения агента по каким-либо вопросам. Тогда результат игр – это достижение (или недостижение) общего мнения (согласование). Обычно количество объектов берется равным одному, т.е. рассматривается мнение агентов по одному вопросу. В таком случае игра в наименования становится моделью динамики мнений.

3.1. ВЫЯВЛЕНИЕ СООБЩЕСТВ

На данный момент существует достаточно большое количество методов выявления сообществ, которые основываются на заданном во введении определении сообщества. Если определение дать более формально, то разбиение $P = \{C_1, \dots, C_k\}$ вершин графа $G = (V, E)$ ($\forall i, C_i \subseteq V$) на сообщества считается хорошим, если доля ребер внутри C_i высока по сравнению с долей ребер между C_i и другими сообществами.

Качество разбиения на сообщества может оцениваться различными показателями качества: нормированным разрезом [25], проводимостью [8], функцией Кернигана–Лина [11] и модулярностью [16]. Наибольшую популярность на сегодня для оценки качества разбиения приобрел показатель модулярности. Модулярность показывает то, насколько при заданном разбиении графа на сообщества плотность связей внутри сообществ больше плотности связей между сообществами. Идея модулярности

состоит в том, что чем больше отличается подграф, соответствующий сообществу, от случайного подграфа, тем лучше разбиение. То есть модулярность Q разбиения графа на k сообществ $\{V_1, \dots, V_k\}$ будет задаваться следующим образом:

$$Q = \sum_{i=1}^k \left[\frac{m(V_i, V_i)}{m} - \left(\frac{\deg(V_i)}{2m} \right)^2 \right],$$

где m – количество ребер в исходном графе; V_i – i -е сообщество; $m(V_i)$ – количество ребер в i -м сообществе.

Соответственно, один из наиболее очевидных методов разбиения сети на сообщества состоит в *жадной оптимизации модулярности* [7]: первоначально сеть разбивается на n сообществ (одна вершина – одно сообщество), затем последовательно осуществляется поиск пары сообществ, объединение которых даст наибольший прирост модулярности, и объединение найденных сообществ в одно сообщество.

Другой подход состоит в использовании так называемой промежуточности ребер графа: если два сообщества соединены малым количеством ребер, то очевидно, что через эти ребра будут проходить все пути между вершинами, принадлежащими различным сообществам (и эти ребра будут обладать наибольшим значением промежуточности); следовательно, удалив ребра с наибольшим значением промежуточности, мы получим искомое разбиение. Соответственно, для получения разбиения исходного графа необходимо последовательно рассчитывать промежуточность ребер и удалять ребро с наибольшим значением промежуточности [16]. Отметим, что пути можно определять различными способами: как кратчайшие пути, как определяемые случайным блужданием пути и как пути распространения тока (см. теорию схем).

Существуют и другие подходы разбиения сети на сообщества: методы, использующие цепи Маркова [26, 17], метод распространения меток [20], методы, использующие собственные вектора матриц [15], метод спинового стекла и имитации отжига [19] и др.

Вышеупомянутые методы выявления сообществ довольно сильно отличаются друг от друга, соответственно, различается их вычислительная сложность и качество работы. Обычно чем выше качество работы метода, тем выше вычислительная сложность. Далее будет предложен метод выявления сообществ на основе языковых игр и проведено сравнение предложенного метода с уже существующими наиболее популярными методами.

Скорость сходимости и вообще поведение системы сильно зависят от свойств графа [4]. Например, если группа узлов тесно связана между собой, то с большой вероятностью агенты из этой группы будут обладать одинаковым мнением. Если граф состоит из несколько таких групп, слабо связанных между собой, то сначала агенты «договорятся» друг с другом внутри групп, а затем группы договорятся между собой. Таким образом, если пронаблюдать за системой в тот момент, когда агенты внутри групп уже договорились между собой, но общий язык еще не возник, и посмотреть, какие агенты какого мнения придерживаются, можно выявить сообщества. Этот метод выявления сообществ был предложен в статье [14]. В ней рассматривался социальный граф (около 1000 вершин), на котором несколько раз запускались серии игр в наименования. Через 10 тыс. игр определялось, какого мнения в итоге придерживается каждый агент. Оказалось, что в большинстве случаев агенты разделялись на 4 группы, в каждой из которых у всех было одинаковое мнение. Эти группы были примерно одинаковы для разных экспериментов, из чего делался вывод, что рассматриваемое сообщество людей делится на 4 группы (эти сообщества были неявными, т.е. их члены напрямую не декларировали свою принадлежность группе). Это разделение объяснялось социальными факторами.

Тот же метод был протестирован нами на нескольких графах, обладающих структурой сообществ. Графы генерировались алгоритмом, описанным в статье [12]. Рассматривались графы разных размеров, разной плотности и с более и менее выраженными сообществами. Степень «выраженности» сообществ отражала величина μ – параметр смешивания (mixing parameter), который для одной вершины выражает долю соседних вершин,

связанных с другими соседями этой вершины. Таким образом, чем больше эта величина, тем более ярко выражены группы вершин. Как оказалось, поведение агентов сильно зависело от этой величины. При маленьких μ (т.е. слабо выраженных сообществах) графики зависимости средней доли успешных игр и количества слов в системе почти не отличались от графиков для полных графов. Средняя доля успешных игр постепенно увеличивалась и становилась равной 1, а количество слов постепенно снижалось до 1.

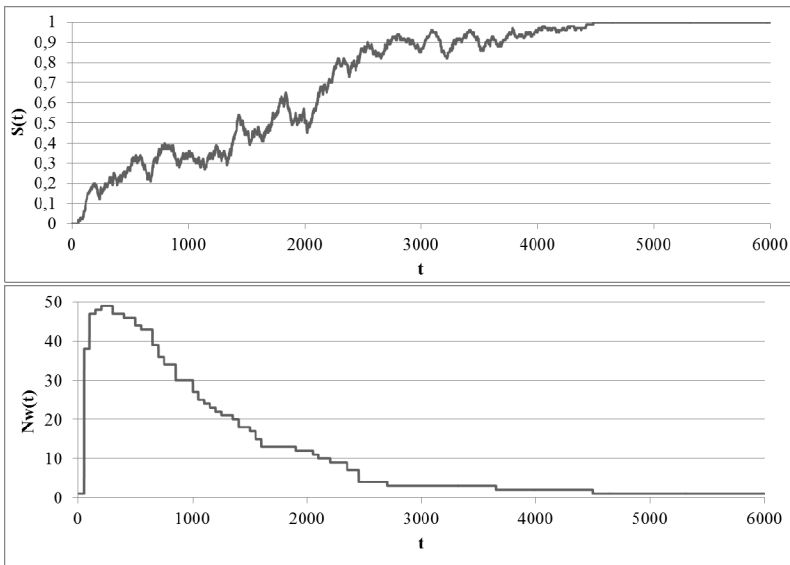


Рис. 3. Средняя доля успешных игр и количество слов для графа со слабо выраженными сообществами ($\mu = 0,2$)

Если граф был с более выраженной структурой сообществ, то количество слов постепенно уменьшалось и выходило на постоянную величину, равную количеству сообществ. (При этом средняя доля успешных игр была достаточно высокой, но меньше 1). В таком метастабильном состоянии система прибывала

достаточно долгое время. Далее количество слов уменьшалось до одного.

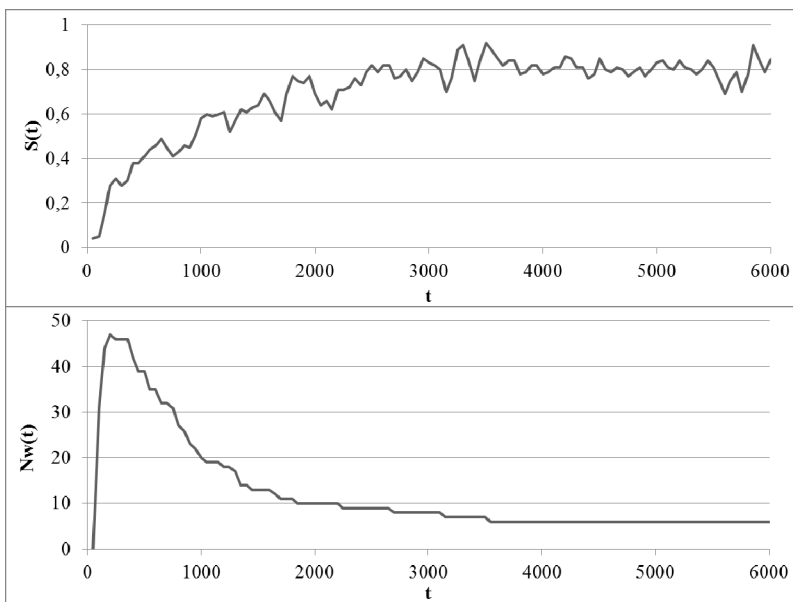


Рис. 4. Средняя доля успешных игр и количество слов для графа с хорошо выраженными сообществами ($\mu = 0,1$)

Таким образом, проследив какие агенты какого мнения придерживаются во время «плато», можно было определить разбиение на сообщества.

Нами были определены сообщества для разных графов и сравнены с эталонными сообществами (по которым генерировался граф) и сообществами, полученными другими методами.

Рассматривались следующие методы:

1. Распространение меток (label propagation) [18].
2. Использование собственных векторов матриц (leading eigenvector) [15].
3. Многоуровневая оптимизация модулярности (multi-level modularity optimization) [5].

4. Infomap [20].
5. Случайное блуждание (random walks) [17].
6. Метод спинового зеркала и имитации отжига (spin-glass) [19].
7. Посредничество ребер (edge betweenness) [16].
8. Жадная оптимизация модулярности (fast greedy modularity optimization) [7].

«Похожесть» разных разбиений графа на сообщества определялось взаимной информацией разбиений I [13].

Нами было исследовано множество графов, сгенерированных с разными параметрами: числом вершин (от 10 до 1000), средней степенью вершин (от 2 до 50) и степенью смешивания (от 0,01 до 0,4). Как оказалось, среди этих трех параметров только степень смешивания оказывает существенное влияние на работу методов определения сообществ. Поэтому в следующих таблицах приводятся результаты, усредненные для нескольких графов и сгруппированные по степени смешивания.

В таблице 1 приведена взаимная информация исходных и полученных разбиений для неориентированных графов нескольких графов.

Таблица 1. Взаимная информация разбиения для неориентированных графов

	$\mu = 0,01$	$\mu = 0,1$	$\mu = 0,2$	$\mu = 0,4$
Игра в наименования	1,00	0,81	0,69	0,16
Посредничество ребер	0,99	1,00	1,00	0,97
Жадная оптимизация модулярности	0,96	0,97	1,00	0,81
Infomap	1,00	1,00	1,00	1,00
Распространение меток	1,00	1,00	1,00	0,98
Использование собственных векторов матриц	0,87	0,85	0,39	0,70
Многоуровневая оптимизация модулярности	0,98	1,00	1,00	1,00
Метод спинового зеркала и имитации отжига	0,99	1,00	1,00	0,91
Случайное блуждание	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 2. Взаимная информация разбиения для ориентированных графов

	$\mu = 0,01$	$\mu = 0,1$	$\mu = 0,2$	$\mu = 0,4$
Игра в наименования	1,00	0,86	0,59	0,11
Посредничество ребер	1,00	1,00	1,00	0,33
Infomar	1,00	1,00	1,00	1,00
Распространение меток	1,00	1,00	1,00	0,58
Многоуровневая оптимизация модулярности	0,93			
Метод спинового зеркала и имитации отжига	0,92	0,92	0,92	0,92
Случайное блуждание	1,00	1,00	1,00	0,92

Также определялась модулярность разбиения Q [16] – величина, показывающая, насколько при данном разбиении плотность внутригрупповых связей больше плотности межгрупповых связей. Для некоторых графов модулярность указана в таблице 3.

Таблица 3. Модулярность (Q) разбиений для неориентированных графов

	$\mu = 0,01$	$\mu = 0,1$	$\mu = 0,2$	$\mu = 0,4$
Игра в наименования	0,79	0,71	0,40	0,23
Эталонное разбиение	0,79	0,82	0,60	0,09
Посредничество ребер	0,79	0,82	0,60	0,56
Жадная оптимизация модулярности	0,79	0,82	0,60	0,56
Infomar	0,79	0,82	0,60	0,53
Распространение меток	0,79	0,82	0,60	0,56
Использование собственных векторов матриц	0,79	0,71	0,36	0,56
Многоуровневая оптимизация модулярности		0,82	0,60	0,47
Метод спинового зеркала и имитации отжига	0,79	0,82	0,60	0,55
Случайное блуждание	0,79	0,82	0,60	1,00

Как оказалось, ситуация для ориентированных и неориентированных графов не отличается, и при маленьких μ метод работает хорошо. Более подробно зависимость качества разбиений от μ показана на рис. 5. На нем изображен график зависимости качества разбиения (взаимная информация и модулярность) для графов с разным μ (другие параметры были одинаковыми: средняя степень вершин $k = 10$, число вершин $n = 100$). Для каждого графа эксперимент проводился 10 раз, затем вычислялся средний результат (т.е. среднее разбиение).

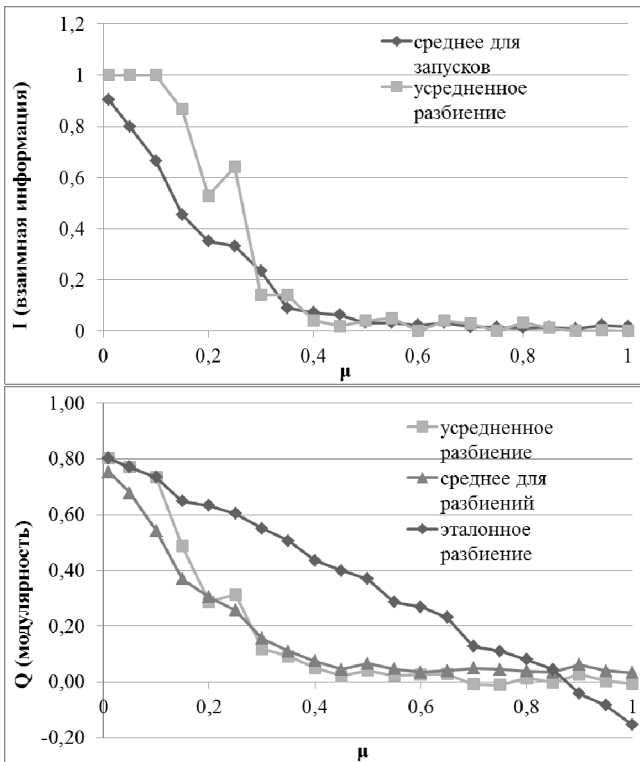


Рис. 5. Сравнение качества разбиений, полученных с помощью игры в наименования для графов с разными μ

На рисунке показаны графики для этих средних разбиений и для среднего, вычисленного для каждого разбиения. Как видно, среднее разбиение оказывается ближе к эталонному, чем разбиения, полученные в отдельном эксперименте. Это связано с тем, что разбиения, полученные с помощью игры в наименования, нестабильны, так как каждый агент легко меняет свое мнение на мнение соседа. Поэтому для более точного результата можно усреднять сообщества за несколько отдельных экспериментов (или наблюдать за динамикой мнений в одном эксперименте).

Основной проблемой при использовании языковых игр для выделения сообществ является определение количества игр, которые необходимо провести. С одной стороны, если взять это число (назовем его t_{opt}) слишком маленьким (см. рис. 6, т. А), то может оказаться, что число слов (N_w) слишком большое, агенты еще не успели их согласовать. С другой стороны, если эта величина слишком большая, то к этому времени агенты уже могут выработать общий язык, то есть окажется, что число слов $N_w = 1$, т.е. сообществ нет (см. рис. 6, т. С). Точно определить это число невозможно, так как игра в наименования допускает некую случайность, и, кроме того, как было сказано выше, не является абсолютно точным методом.

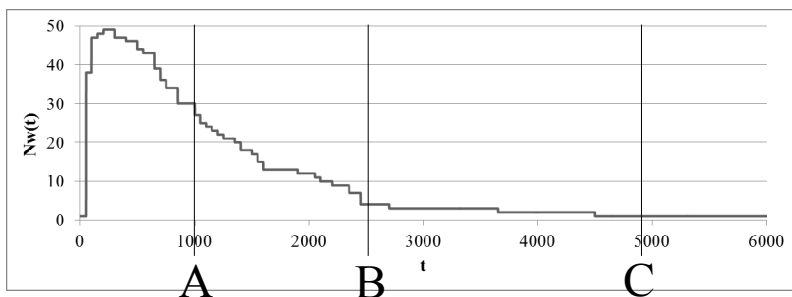


Рис. 6. Пример неудачного (т. А, т. С) и удачного (т. В) определения времени окончания эксперимента

Чтобы примерно определить t_{opt} , нужно запустить серию игр и проанализировать графики $S(t)$ и $N_w(t)$. По этим графикам будет видно, прежде всего, имеет ли граф ярко выраженные сообщества или их границы несколько «размыты» (см. рис. 3 и 4). Если сообщества выражены очень ярко, то график $N_w(t)$ будет иметь длинное «плато» (на котором $N_w > 1$), тогда точку t_{opt} следует взять, лежащей на этом плато.

На рис. 7 показаны графики $S(t)$, $N_w(t)$ и Q (посчитанной для сообществ, выделенных в каждый момент времени) для графа с четко выделенными сообществами ($\mu = 0,01$). По графику Q видно, что действительно, во время «плато» сообщества определяются наиболее точно.

На рис. 8 изображены аналогичные графики для графа с $\mu = 0,1$, а на рис. 9 – для $\mu = 0,2$.

Как видно по рисункам, чем больше μ , тем менее стабилен процесс: графики количества успешных игр и числа слов при больших μ становятся менее гладкими. А модулярность при наибольшем μ принимает гораздо меньшие значения, чем при меньших μ (0,2 против 0,7). Кроме того, при больших μ процесс возникновения общего языка (т.е. начало использования всеми агентами только одного слова) заканчивается быстрее. Таким образом, использование языковых игр в графах с неявно выраженными сообществами становится затруднительным.

Нами был исследован [3] социальный граф, полученный на основе анализа комментариев к записям блогов площадки livejournal.com за несколько месяцев. Вершинами графа были зарегистрированные пользователи и сообщества (рассматривался только русскоязычный сегмент), а связь ставилась, если один из пользователей комментировал пост (запись в блоге) другого. Направление связи шло от автора поста к автору комментария и указывало направление распространения информации (подразумевалось, что если пользователь пишет комментарий к посту, то он прочитал этот пост и воспринял информацию из него). Также дугам были присвоены веса, соответствующие количеству комментариев.

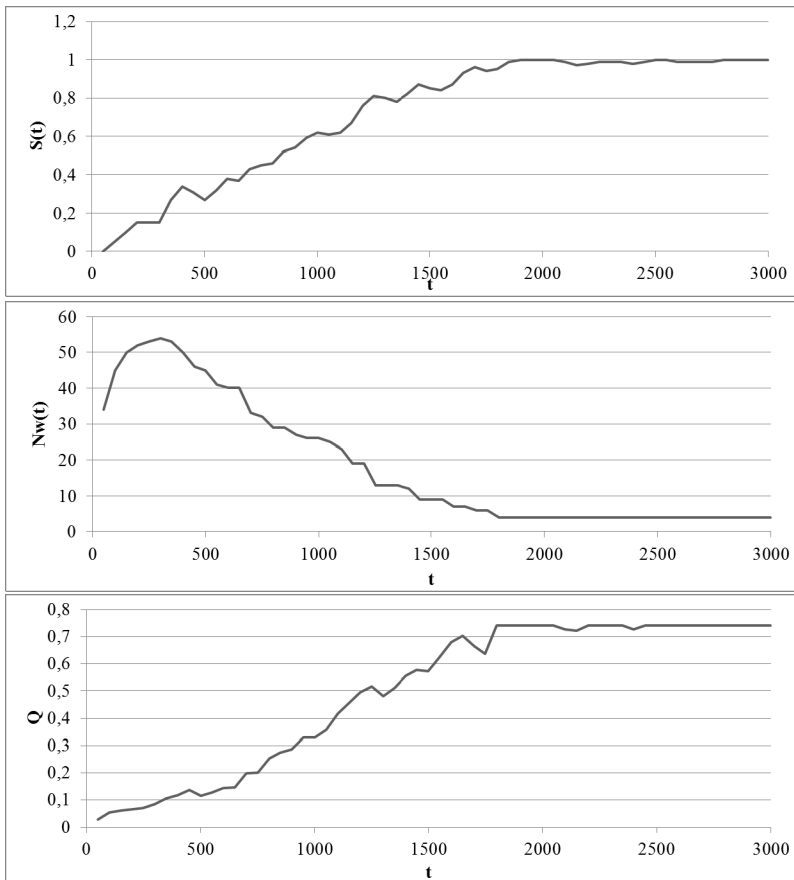


Рис. 7. Средняя доля успешных игр, количество слов и модулярность получившихся разбиений для разных моментов времени для графа с $\mu = 0,01$

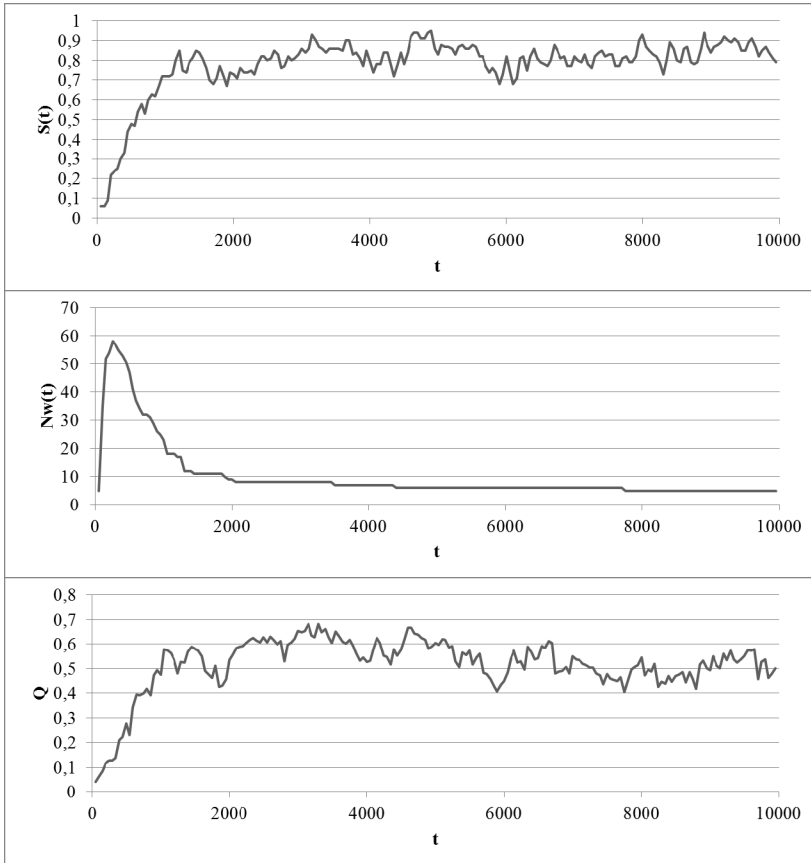


Рис. 8. Средняя доля успешных игр, количество слов и модулярность получившихся разбиений для разных моментов времени для графа с $\mu = 0,1$

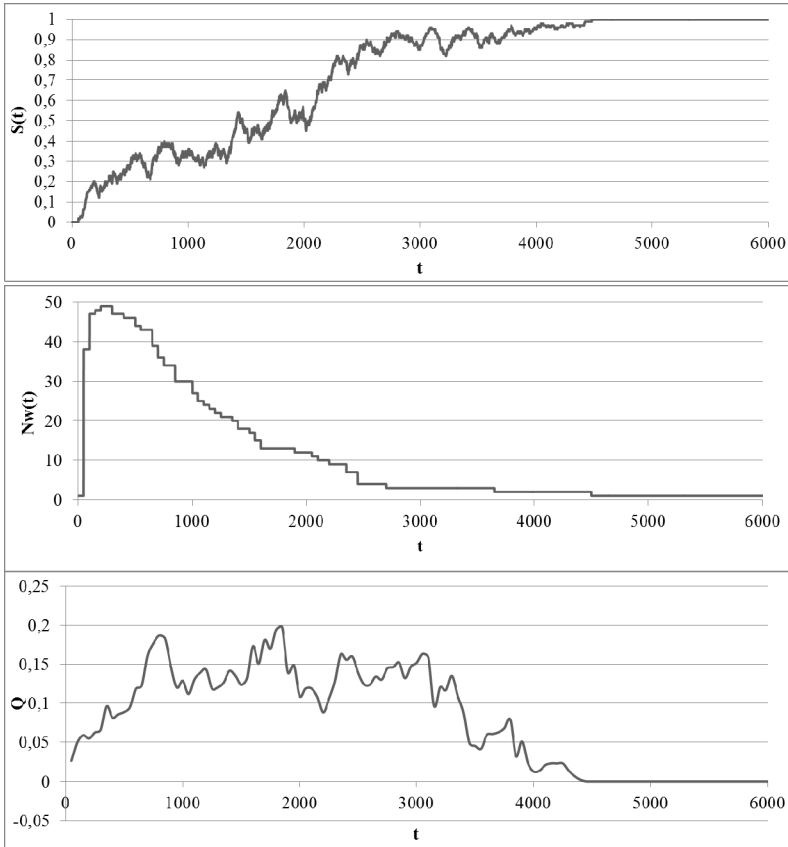


Рис. 9. Средняя доля успешных игр, количество слов и модулярность получившихся разбиений для разных моментов времени для графа с $\mu = 0,2$

Граф состоял из 361 тыс. вершин и около 9 млн. связей. На графе 500 млн. раз запускалась игра в наименования. С помощью игры в наименования удалось выделить около 1500 сообществ (но это не было разбиением, т.е. все вершины входили в сообщества). К сожалению, имеющиеся вычислительные ресурсы не позволили получить разбиения на сообщества другими методами за разумное время. Однако этот факт говорит в пользу использования игры в наименования для поиска сообществ

пусть как не самого точного метода, зато имеющего меньшую вычислительную сложность.

3.2. ВЫЯВЛЕНИЕ ВЛИЯТЕЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Другой задачей исследования социальных сетей является выявление влиятельных агентов, т.е. тех агентов, чьи мнения оказываются более значимыми, чем мнения других агентов. Таких агентов можно выявлять и с помощью игры в наименования. Для этого достаточно проследить, какие агенты являются авторами самых популярных мнений в системе.

Обычно в игре в наименования, когда агенту нужно придумать новое слово, он генерирует его как случайную последовательность букв заданного алфавита. В наших экспериментах (на графе пользователей livejournal.com) новые слова соответствовали порядковому номеру агента, что давало возможность проследить, сколько «последователей» (агентов, придерживающегося того же мнения) образуется у каждого агента. Для каждого агента была подсчитана доля его последователей (от всех агентов) и усреднена для 100 экспериментов (по 500 млн. игр в каждом). Полученная величина была названа влиятельностью агентов.

Также было обнаружено, что некоторые агенты все эксперименты заканчивают с одним и тем же мнением. Видимо, эти агенты комментируют только одного пользователя или сообщество (или гораздо чаще, чем других). Большая часть таких групп агентов (а их около 7 тыс.) имеют небольшой размер (до 10 агентов), но есть несколько больших групп в несколько сотен и тысяч агентов. «Лидеров» этих групп (тех, чье мнение все принимают) тоже можно считать влиятельными агентами.

В таблице 4 приведены величины влиятельности некоторых агентов, рассчитанные двумя вышеописанными методами и показатели популярности по меркам livejournal.com (рейтинг и количество друзей).

Таблица 4. Соответствие показателей рассчитанной популярности и популярности в терминах блоговой площадки (псевдонимы пользователей и сообществ скрыты)

Имя	Рейтинг	Друзей	Последователей	Влиятельность
Пользователь №1	3	73017	2563	0,0199
Сообщество №1	15	50000	1044	0,0029
Сообщество №2	84	17842	940	0,0042
Сообщество №3		56903	939	0,0034
Сообщество №4	25	30801	513	0,0051
Сообщество №5	1	58549	486	0,0098
Сообщество №5	188	9911	405	0,0035
Сообщество №6		30716	340	0,0032
Сообщество №7	62	16728	336	0,0019
Пользователь №2	61	9855	315	0,0025
Сообщество №8	172	15282	315	0,0016
Сообщество №9	17	23321	313	0,0023
Сообщество №10		25772	302	0,0031
Пользователь №3		0	300	
Сообщество №11	6	40220	296	0,0033
Сообщество №12		2758	291	0,0019
Сообщество №13		17899	291	0,0012
Сообщество №14	56	34190	277	0,0013
Сообщество №15	237	3326	267	0,0019
Сообщество №16	71	13484	263	0,0015

Как оказалось, самые влиятельные агенты, рассчитанные с помощью игры в наименования, являлись также популярными по меркам блоговой платформы (имеют высокий рейтинг и большое количество друзей). Также выяснилось, что большинство влиятельных агентов – это сообщества, а не отдельные пользователи. Это подтверждает само назначение сообщества – объединение пользователей.

4. Заключение

Итак, мы показали, что игру в наименования можно использовать для исследования социальных графов, в частности для выявления сообществ и определения влиятельных агентов. Также игру в наименования можно использовать и для других исследований в области социальных сетей, в частности для моделирования управления общественным мнением и эффекта масс-медиа [14].

Кроме того, можно усложнить модель, добавив агентам репутацию и учитывая доверие между агентами.

Было проведено сравнение выявления сообществ с помощью игры в наименования с другими популярными методами. Показано, что игра в наименования по точности результата несколько уступает другим методам (особенно для графов со слабо выделенными сообществами). Однако сложность предложенного метода меньше, чем многих других, что позволяет использовать его на больших графах в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Литература

1. ВИТГЕНШТЕЙН Л. *Философские исследования*. – М.: АСТ, Астрель, 2011. – 352 с.
2. МИКУЛИЧ Л.И., НАУМКИНА Т.С. *Использование языковых игр для моделирования языка в многоагентных системах* // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012 (16–20 октября 2012 г., Белгород, Россия): Труды конференции. Т. 3. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – С. 34–39.
3. МИКУЛИЧ Л.И., НАУМКИНА Т.С. *Применение языковых игр в многоагентных системах* // Материалы конференции «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах» (УТЭОСС-2012). – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – С. 1188–1191.

4. BARONCHELLI A., DALL'ASTA L., BARRAT A. *The role of topology on the dynamics of the Naming Game* // The European Physical Journal: Special Topics. – 2007. – No.143(1) – P. 233–235.
5. BLONDEL V.D., GUILLAUME J.-L. LAMBIOTTE R. et al. *Fast unfolding of communities in large networks* // Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment. – 2008. – P. 10008.
6. CATTUTO C., LORETO V., PIETRONERO L. *Semiotic dynamics and collaborative tagging* // Proc. National Academy of Sciences of the United States of America. – 2007. – Vol. 104. – P. 1461–1464.
7. CLAUSET A., NEWMAN M., MOORE C. *Finding community structure in very large networks* // Physical review. – 2004. – No. 70 – 066111.
8. DHILLON I.S., GUAN Y., KULIS B. *Weighted Graph Cuts without Eigenvectors: A Multilevel Approach* // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2007. – No. 29(11). – P. 1944–1957.
9. GOSTI G., BATCHELDER W.H. *Naming on a directed graph* // Social Computing, Behavioral-Cultural Modeling. – 2011. – P. 358–365.
10. KE J., MINETT J.W.J., AU C.-P.C. et al. *Self-organization and selection in the emergence of vocabulary* // Complexity. – 2002. – No.7. – P. 1–28.
11. KERNIGAN B., LIN S. *An Efficient Heuristic Procedure for Partitioning Graphs* // The Bell System Technical J. – 1970. – No.49. – P. 291–307.
12. LANCICHINETTI A., FORTUNATO S. *Benchmarks for testing community detection algorithms on directed and weighted graphs with overlapping communities* // Physical Review. – 2009. – No. E80. – 016118.
13. LANCICHINETTI A., FORTUNATO S., KERTÉSZ J. *Detecting the overlapping and hierarchical community structure in complex networks* // New Journal of Physics. – 2009. – No.11(3). – 033015.

14. LU Q., KORNISS G., SZYMANSKI B.K. *The Naming Game in social networks: community formation and consensus engineering* // Journal of Economic Interaction and Coordination. – 2009. – No.4. – P. 221–235.
15. NEWMAN M.E.J. *Finding community structure in networks using the eigenvectors of matrices* // Physical review. – 2006. – No. E70. – 036104.
16. NEWMAN M., GIRVAN M. *Finding and evaluating community structure in networks* // Physical review. –2004. – No. E69. – 026113.
17. PONS P., LATAPY M. *Computing communities in large networks using random walks* // Computer and Information Sciences-ISCIS 2005. – Springer Berlin Heidelberg, 2005. – P. 284–293.
18. RAGHAVAN U., ALBERT R.; KUMARA S. *Near linear time algorithm to detect community structures in large-scale networks* // Physical Review. –2007. – No. E76. – 036106.
19. REICHARDT J., BORNHOLDT S. *Statistical mechanics of community detection* // Physical Review. – 2006. – No.E74. – 016110.
20. ROSVALL M., BERGSTROM C.T. *Maps of random walks on complex networks reveal community structure* // Proc. National Academy of Sciences of the United States of America. – 2008. – Vol. 105. – P. 1118–1123.
21. SCHULZ R., GLOVER A., MILFORD M. *Lingodroids: Studies in spatial cognition and language* // ICRA, 2011 – IEEE 2011. – P. 178–183.
22. STEELS L. *Language games for autonomous robots* // IEEE Intelligent Systems. – 2001. – P.16-22.
23. STEELS L. *Self-organizing vocabularies* // Proceedings of the 5th International Workshop on Artificial Life: Synthesis and Simulation of Living Systems, ALIFE-96. – 1997. – P. 179–184.
24. STEELS L., MCINTYRE A. *Spatially Distributed Naming Games* // Advances in Complex Systems. – 1999. – No.1. – P. 301–323.

25. SHI J., MALIK J. *Normalized Cuts and Image Segmentation* // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2001. – No. 22(8). – P. 888-905.
26. VAN DONGEN S. *Graph Clustering by Flow Stimulation*. – PhD thesis, University of Utrecht, 2000. – 169 p.

LANGUAGE GAMES IN INVESTIGATION OF SOCIAL NETWORKS: FINDING COMMUNITIES AND HIGH-IMPACT AGENTS

Dmitry Gubanov, *Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (dmitry.a.g@gmail.com).*

Leonid Mikulich, *Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand. Sc. (lmik@ipu.ru).*

Tamara Naumkina, *Institute of Control Sciences of RAS, Moscow (tamara.naumkina@gmail.com).*

Abstract: We suggest using language games in social network studies. This method can be used for finding implicit communities and high-impact agents in social networks. We introduce a Naming game and explain how it is applied in investigation of social networks. Simulation results are presented for several specially designed graphs and for one real-life graph. We also survey alternative approaches and compare them with our method.

Keywords: social networks, communities, opinion dynamics, naming game.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Д.А. Новиковым

*Поступила в редакцию 22.07.2014.
Опубликована 30.09.2014.*

УДК 681.5
ББК 65.050

ВЫБОР ИНВЕСТИЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ КОМПАНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ РЫНКОВ

Акинфиев В. К.¹

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

Усиление конкуренции на мировых рынках заставляет компании принимать инвестиционные решения в более неопределенной среде, чем раньше. В работе изучается влияние выбора инвестиционных стратегий компаний на финансовые результаты их деятельности и эффективность инвестиций в условиях нестабильности рынков. Особенностью предлагаемой схемы анализа является учет взаимозависимости между выбранным вариантом стратегии и сценарными условиями (динамикой рынков), которая задается введением отрицательной обратной связи при моделировании. Приводится описание разработанной математической модели, которая реализует предлагаемую схему анализа.

Ключевые слова: инвестиционные стратегии компаний, нестабильность рынков, математическое моделирование, эффективность инвестиций.

1. Введение

Как известно, экономике, построенной на рыночных принципах, органически присуща циклическая смена фаз деловой активности, которая выражается в более или менее регулярном

¹ Валерий Константинович Акинфиев, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник (akinf@ipu.ru).

повторении спадов и подъемов производства. Экономическая цикличность относится к наиболее важным макроэкономическим проблемам и оказывает прямое или косвенное воздействие на все субъекты рыночной экономики.

Инвестиционная деятельность всегда связана со значительными рисками. Инвестиционные решения по реализации крупных инвестиционных проектов в ряде отраслей (металлургия, машиностроение и др.) обладают большой инерционностью (2–3 года и более между принятием решения и моментом получения эффекта от инвестиций). Особенно ответственны такие решения в периоды, предшествующие смене тренда деловой активности на рынках. Выбор стратегических решений, к которым относятся инвестиционные решения, прежде всего должен быть основан на анализе тенденций и прогнозов развития как мировых, так и национальных и региональных рынков [1].

Планы развития большинства российских компаний, например в металлургической отрасли, в докризисные годы были построены исходя из наиболее благоприятного сценария рыночной конъюнктуры. Предполагалось, что спрос на металлопродукцию будет расти, в зависимости от сегмента рынка, с темпом 7–10% в год в течение ближайших 10 лет. Как правило, другие сценарии в расчет не принимались. Такой подход, как показала практика, является крайне рискованным.

Такая стратегия развития компаний в период после 2008 года в результате снижения спроса на металл привела к появлению на мировых рынках избыточных производственных мощностей, которые оцениваются величиной порядка 500 млн. т в год. В ЕС, например, после 2008 года суммарная производственная мощность сталеплавильных предприятий уменьшилась с 250 млн. т в год до 210 млн. т в год. Среди российских металлургических компаний в тяжелой ситуации оказались Мечел и UC Rusal. В результате изменения динамики рынков у этих компаний сформировалась высокая долговая нагрузка на фоне растущих убытков. У UC Rusal и Мечела отношение чистого долга к показателю EBITDA превышает 10, у Евраза это соотношение немного меньше и составляет 4 [5].

Ошибки в прогнозе сценарных условий, положенных в основу выбора инвестиционных решений компаний, в период кризиса приводят к нежелательным последствиям, в том числе к замораживанию значительных финансовых средств, связанных с невозможностью и нецелесообразностью финансирования начатых проектов, уменьшению эффективности (или отрицательной эффективностью) завершенных проектов. Привлечение значительных заемных финансовых средств для реализации инвестиционных программ в периоды спада может поставить компании в тяжелое финансовое положение, вплоть до банкротства.

Заметим, что интерес к разработке методов анализа и выбора инвестиционных стратегий компаний, учитывающих неопределенность спроса на их продукцию, в последние годы вырос в связи с повышением нестабильности на мировых рынках [7, 8].

Одним из ключевых этапов выбора компаниями инвестиционной стратегии и программ их производственно-технологического развития является этап оценки их эффективности и финансовой реализуемости на основе общепринятых показателей (NPV, IRR и др.). Этап основывается на применении производственно-финансовых моделей, позволяющих прогнозировать изменение денежных потоков компании в зависимости от реализации тех или иных вариантов инвестиционной стратегии [1].

Заметим, что на результат оценки существенное влияние оказывает прогноз величины спроса и цен на товарную продукцию. Как правило, данная задача рассматривается для случая растущих рынков (наиболее простой случай для анализа). В случае, если на прогнозном периоде рынки могут несколько раз менять тренд, ситуация для анализа существенно усложняется. Сложность заключается в том, что компании не в состоянии прогнозировать эти изменения на весь прогнозный период и ограничиваются лишь оценкой тренда, который наблюдается в период, в котором принимаются инвестиционные решения (формируется инвестиционный бюджет компании).

Возникает следующий важный вопрос: какова должна быть инвестиционная стратегия компании в условиях неопределенности спроса на ее продукцию? Понятие инвестиционная стратегия компании будет формализовано далее. Как должны меняться инвестиционная стратегия и механизм ее выбора в условиях нестабильности рынков для того, чтобы обеспечить максимальный уровень эффективности инвестиций и, соответственно, максимальный прирост стоимости компании.

Ситуация еще более усложняется, если принять во внимание взаимосвязь между инвестиционной активностью компаний, которая может дополнительно провоцировать нестабильность рынков, и динамикой рынков, которая определяет во многом выбор стратегии. Излишняя инвестиционная активность компаний, как правило, приводит к появлению «лишних» производственных мощностей и, в периоды снижения спроса, к значительному снижению цены на продукцию [2, 3].

Далее мы рассматриваем ситуацию, когда компании в начале каждого периода (года) формируют свои инвестиционные бюджеты (объем финансовых ресурсов, выделяемых на реализацию инвестиционных проектов различных типов) на основе некоторых рациональных правил, использующих результаты анализа тенденций динамики спроса и цены на продукцию. Целью работы является исследование механизмов формирования инвестиционных бюджетов компаний и выбор оптимальных параметров этих механизмов в зависимости от сценариев динамики рынков.

Рассмотрим далее иллюстративный пример выбора возможных инвестиционных стратегий поведения компании на рынке в зависимости от различных сценариев рыночной динамики (сценарии 1, 2 и 3, рис. 2). Здесь мы предполагаем, в отличие от ситуации, рассматриваемой в работе, что динамика рынка заранее известна.

Сценарий 1. На протяжении всего прогнозного периода будет наблюдаться рост потребления продукции. К 2022 году планируется существенный положительный пророст потребления (+60%) по сравнению с 2012 г. Рациональная инвестицион-

ная стратегия поведения для такого сценария – компании должна интенсивно наращивать объемы производства к 2022 г. для сохранения и увеличения доли рынка и реализовывать амбициозные инвестиционные программы расширения профильного бизнеса.

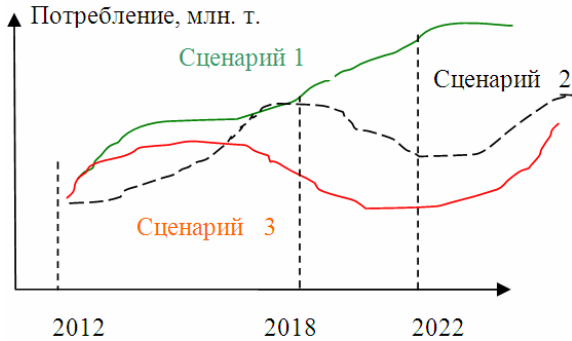


Рис. 1. Сценарии динамики рынка

Сценарий 2. На протяжении первой половины прогнозного периода (до 2018 года) будет наблюдаться рост потребления продукции. Однако, начиная с 2018 года, будет происходить заметное снижение потребления на рынке. Общий прирост потребления в 2022 г. по сравнению с 2012 г. составит 30%. Рациональная инвестиционная стратегия поведения для такого сценария – компания должна ускоренно (к 2016–2018 гг.) нарастить объемы производства (сохранить или увеличить долю рынка и заработать на пике потребления). После пика компания должна быть готова к падению объемов производства и снижению прибыльности в период 2018–2022 г. Для этого необходимо инвестировать не только в проекты, направленные на увеличение производственных мощностей, но и в проекты по сокращению производственных издержек.

Сценарий 3. На протяжении первых двух – трех лет прогнозного периода будет наблюдаться заметный рост потребления продукции, а затем, к 2022 году, – существенное снижение на 30% по сравнению с 2012 годом. Рациональная инвестиционная стратегия поведения для такого сценария – компания

должна реализовывать только проекты, направленные на снижение себестоимости продукции, внедрение энергосберегающих технологий и экономии затрат (увеличение запаса рентабельности). В период снижения спроса (снижения загрузки производственного оборудования) целесообразно проводить капитальные ремонты и модернизацию технологического оборудования.

Данный пример показывает, что объем финансовых средств, направляемых на инвестирование, и состав инвестиционных проектов компании существенно зависит от внешних сценарных условий, в которых будет функционировать компаний в будущем. При этом вопросы выбора инвестиционных стратегий развития компаний является достаточно сложным и слабо исследованы в литературе. Поэтому весьма актуальным в современных условиях является разработка методического инструментария исследования конкурентных инвестиционных стратегий компаний для динамики рынков с переменным трендом.

В данной работе термин «выбор инвестиционной стратегии» включает:

- выбор инвестиционной активности компании в различные периоды времени, которая определяет объем средств компании, направляемых на реализацию инвестиционных проектов;
- выбор направлений инвестирования, который определяет соотношение и объем финансовых средств компании, направляемых на реализацию инвестиционных проектов двух типов – проектов развитие производственных мощностей и расширения производства и проектов, направленных на сокращение производственных издержек.

Цель работы состоит в разработке моделей и методов, позволяющих исследовать влияние выбора инвестиционной стратегии компаний на ее финансовые показатели и эффективность инвестиций с учетом взаимодействия с рынком в условиях нестабильности спроса на продукцию компаний.

2. Методология исследований

Для анализа рассматриваемой задачи используется подход к моделированию, предложенный в [2, 3]. Особенностью данно-

го подхода является совместное исследование моделей компаний и модели рынка, что позволяет учесть влияние выбора инвестиционных стратегий развития компаний на рыночные сценарные условия функционирования бизнеса (рис. 2).

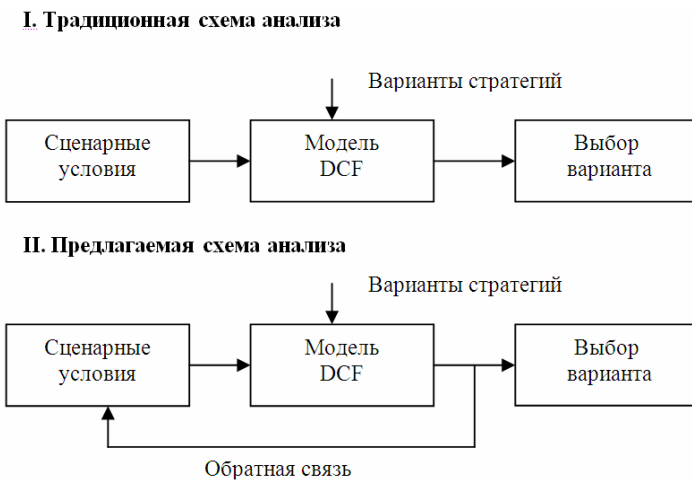


Рис. 2. Схемы анализа инвестиционных стратегий

Здесь

– блок «Сценарные условия» задает прогнозную динамику экзогенных параметров (цены, спрос и пр.) для модели DCF;

– блок «Модель DCF» представляет собой производственно-финансовую модель компании, которая позволяет оценить дополнительный дисконтированный свободный денежный поток, связанный с реализацией того или иного варианта инвестиционной стратегии. Заметим, что производственно-финансовые модели позволяют формировать прогнозы укрупненной финансовой отчетности компаний (отчет о движении денежных средств, баланс и отчет о прибылях и убытках) в зависимости от анализируемого варианта инвестиционной программы. При этом учитываются различные сценарии изменения внешних условий хозяйственной деятельности компании

(инфляция, изменения валютных курсов, изменения цен и спроса на товарную продукцию и т.д.).

Производственно-финансовые модели компании реализуются разработчиками либо с использованием специализированных программных продуктов, имеющих на рынке (ТЭО-ИНВЕСТ, Project Expert и др.), либо в среде MS Excel. Как правило, производственно-финансовые модели учитывают технологическую и логистическую структуру производственных процессов компании и предназначены для проведения аналитических расчетов в режиме «имитационной модели». Это позволяет, изменяя на входе модели параметры инвестиционной программы, параметры производственной программы и макроэкономические сценарии, прогнозировать производственно-финансовые результаты деятельности компании. Принципы и методы построения производственно-финансовых моделей детально изложены в [1, 4].

– блок «Выбор варианта» задает процедуру выбора инвестиционной стратегии компании на основе расчета показателей ее эффективности.

Следует заметить, что главной отличительной особенностью предлагаемой схемы анализа является учет взаимозависимости между выбранным вариантом стратегии и динамикой рынков, которая задается отрицательной обратной связью при моделировании.

Далее приводится описание разработанной математической модели, которая реализует предлагаемую схему анализа. Описываются взаимосвязи между переменными и механизм выбора инвестиционной стратегии применительно к компаниям в отрасли черной металлургии.

3. Модель

Общая структура разработанной модели приведена на рис. 3. Предположения модели и переменные:

1. Динамика спроса на металлопродукцию (потребление) – $D(t)$. $D(t)$ – экзогенная переменная модели, график изменения

которой задается заранее для различных внешних по отношению к модели макроэкономических сценариев.

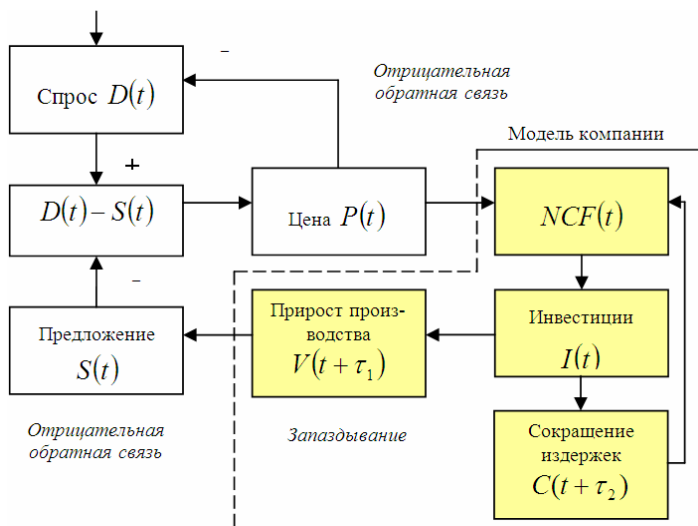


Рис. 3. Структура модели

2. Рыночная цена на металлопродукцию ($\$/t$) в период $t - P(t)$. В каждый период времени цена формируется на основе соотношения спроса и предложения, которое определяется в каждый период t как разность между платежеспособным спросом на металлопродукцию и уровнем производственных мощностей предприятий отрасли, который определяется в результате расчетов в модели.

Пусть $D(t)$ – спрос на продукцию в период t ; $S(t)$ – предложение (производство, производственные мощности) в период t .

Тогда $P(t) = P(0) + \gamma_1 \cdot (D(t) - S(t))$, где параметр γ_1 – эластичность цены по величине превышения спроса над предложением. В случае, когда $D(t) - S(t) \geq 0$, возникает дефицит предложения на рынке и цена продукции растет, в противном случае – избыток предложения и, соответственно, цена падает.

Следует отметить, что, в свою очередь, $D(t)$ также зависит от динамики цены $P(t)$. Увеличение $P(t)$ может приводить к

снижению $D(t)$, что учитывается введением отрицательной обратной связи в модель. Степень влияния цены на спрос задается через параметр эластичности спроса по отношению изменения рыночной цены на металлопродукцию.

3. Далее предполагается, что стратегия развития компаний отрасли заключается в инвестировании части свободных финансовых средств в проекты двух типов:

– увеличение производственных мощностей компаний и, соответственно, увеличение предложения продукции на рынке;

– сокращение издержек производства, которые не увеличивают предложение продукции на рынке, а влияют только на рентабельность производства и свободный денежный поток компаний.

Рассматривается временной промежуток, равный T периодов (прогнозный период).

Пусть $NCF(t)$ – свободный денежный поток компаний отрасли в период t , который равен чистой прибыли, полученной компанией за этот период, за вычетом средств, направленных на инвестиции, и вычисляется по формуле:

$$(1) \quad NCF(t) = (P(t) - C(t)) \cdot B(t) \cdot (1 - p) - I(t),$$

где $B(t)$ – объем продаж металлопродукции в период t ; $B(t) = \min\{D(t); S(t)\}$; $C(t)$ – себестоимость продукции в период t ; p – ставка налога на прибыль

Заметим, что все величины, входящие в формулу расчета $NCF(t)$, зависят от стратегии инвестирования компаний, которая и является предметом нашего исследования.

3.1. МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ КОМПАНИИ

Далее предполагается, что **компании принимают инвестиционные решения** в условиях высокой волатильности рынков и неопределенности относительно прогнозной динамики спроса на продукцию компаний $D(t)$.

Компании могут наблюдать в каждом периоде t лишь за изменением своих финансовых показателей (чистая прибыль, цена продукции, объем продаж) и (или) прогнозировать их изменение на следующие несколько периодов. Модель позволяет

варьировать глубину «достоверного» прогноза динамики рынков, доступного участникам рынка. Это позволяет учитывать при анализе фактор «дальновидности» компаний. Очевидно, что в случае низкой волатильности рынков глубина «достоверного» прогноза может быть увеличена.

Компания на каждом шаге t принимает инвестиционные решение на основе этой доступной информации в соответствии с некоторым, наперед заданным, алгоритмом, который будет описан далее.

Пусть далее, если $P(t) - P(t-1) > 0$ или $B(t) - B(t-1) > 0$ (что сигнализирует компании о повышательном тренде на рынке), то часть накопленного к периоду t чистого денежного потока компании в доле, равной величине α , может быть направлено на инвестирование в развитие компаний – $I^*(t)$. Величина α определяет **инвестиционную активность** предприятий отрасли. Чем больше величина α (доля), тем выше инвестиционная активность отрасли. Таким образом

$$I^*(t^*) = \alpha \cdot \sum_{t=1}^{t^*} NCF(t).$$

Как было отмечено ранее, общий объем инвестиций компания может направлять в проекты двух типов: проекты, направленные на увеличение производственной мощности (проекты первого типа), и проекты, направленные на сокращение издержек (проекты второго типа) в некотором соотношении α_1 и α_2 , ($\alpha_2 = 1 - \alpha_1$).

Величины α , α_1 и α_2 являются параметрами модели, которые могут выбираться компаниями в зависимости от их прогнозов динамики рынков.

Таким образом, размер инвестиций $I(t)$ определяется в результате анализа фактических данных и возможного прогноза динамики рынка в соответствии с алгоритмом, описанным ниже, и не может превышать величину, равную $I^*(t)$, которая определяется, в свою очередь, через варьируемый параметр инвестиционной активности. $I(t) = I_1(t) + I_2(t)$, где $I_1(t)$ и $I_2(t)$ размер инвестиций в проекты первого и второго типа соответ-

венно, которые определяются в соответствии с некоторыми правилами и алгоритмами, описываемыми далее.

3.2. ИНВЕСТИЦИИ ПЕРВОГО ТИПА

Компания инвестирует в проекты первого типа в соответствии со следующим алгоритмом.

Если в период t наблюдается восходящий тренд на рынке, то компания инвестирует в проекты первого типа следующим образом:

где I_{np}^1 – предельно допустимый за период уровень инвестиций в проекты первого типа.

Если в период t наблюдается нисходящий тренд на рынке, то это сигнализирует компании о появлении избыточных производственных мощностей и в соответствии с этим компания в этом периоде не инвестирует в проекты первого типа, т.е. $I_1(t) = 0$.

Предположим, что существует временной лаг τ_1 между периодом инвестирования и периодом соответствующего прироста производственных мощностей – $V(t)$. Пусть также величина $E_1(t)$ характеризует прирост производственных мощностей на единицу инвестиционных вложений. Тогда $V(t) = E_1 \cdot I_1(t - \tau_1)$. Соответственно, производственные мощности $S(t) = S(t - 1) + V(t)$.

3.3. ИНВЕСТИЦИИ ВТОРОГО ТИПА

Рассмотрим влияние принимаемых инвестиционных решений компании на динамику изменения себестоимости производства продукции. Себестоимость продукции в период t рассчитывается по следующей формуле:

$$(2) \quad C(t) = C_0 - E_2(t) \cdot I_2(t - \tau_2),$$

где C_0 – себестоимость продукции на начало прогнозного периода; $E_2(t)$ – удельная эффективность инвестиций в проекты снижения производственных издержек (энерго- и ресурсосбережения); τ_2 – временной лаг между периодом инвестирования и периодом соответствующего изменения себестоимости.

Величина $E_2(t)$ характеризует снижение себестоимости продукции на единицу инвестиционных вложений в проекты второ-

го типа. В расчетах используется модель «Снижающейся эффективности инвестиций». В соответствии с этой моделью $E_2(t)$ уменьшается при изменении себестоимости продукции $C(t)$ и приближении его к некому пороговому значению C_{np} . C_{np} – оценка предельно возможного снижения себестоимости продукции, при достижении которого эффективность инвестиций становится равной нулю: $E_2(t) = 0$.

$$(3) \quad E_2(t) = E_2(0) \cdot \left(1 - \frac{C_0 - C(t)}{C_{np}} \right).$$

Компания инвестирует в проекты второго типа в соответствии со следующим алгоритмом:

$$I_2(t) = \min \left\{ I^*(t) \cdot (1 - \alpha_1) \cdot \frac{E_2(t)}{E_2(0)}, I_{np}^2 \right\},$$

где I_{np}^2 – предельно допустимый за период уровень инвестиций в проекты второго типа. В соответствии с описанным алгоритмом, если начиная с периода t $E_2(t)$ становится равной нулю, то и величина инвестиций $I_2(t)$ также становится равной нулю.

В соответствии с этим механизмом объем инвестиций зависит от размера накопленного денежного потока, выбранных показателей инвестиционной активности компании α и α_1 , а также отношения текущего показателя эффективности инвестиций к эффективности инвестиций на начало прогнозного периода.

4. Задача выбора оптимальных параметров инвестиционной стратегии

На основе разработанной модели может быть сформулирована задача определения оптимальных параметров инвестиционной стратегии компаний в зависимости от различных типов сценариев рыночной конъюнктуры.

Пусть $NCF(t, \alpha, \alpha_1, \psi)$, рассчитанный в модели, – свободный денежный поток, который зависит от выбора параметров инвестиционной стратегии α и α_1 , а также от реализации сценария ψ . Задача состоит в выборе для каждого сценария ψ . параметров инвестиционной стратегии α и α_1 , при которых достигается

максимальный эффект от инвестиций. Оценка эффекта от инвестиций рассчитывается как разница между денежным потоком компании, реализующую инвестиционную стратегию с параметрами α и α_1 , и денежным потоком компании при отсутствии инвестиций. Для простоты изложения здесь не учитывается процедура дисконтирования денежных потоков при их суммировании, т.е. предполагается, что ставка дисконтирования равна нулю.

$$(4) \sum_{t=1}^{t=T} (NCF(t, \alpha, \alpha_1, \psi) - NCF(t, 0, 0, \psi)) \rightarrow \max$$

где

$$0 \leq \alpha \leq 1,$$

$$0 \leq \alpha_1 \leq 1,$$

ψ – сценарий рыночной конъюнктуры. Задается несколько возможных сценариев.

Заметим, решение задачи определяет рациональное поведение игроков (компаний) при различных сценариях развития рыночной конъюнктуры. Поведение (выбор инвестиционных решений) компании определяется параметрами инвестиционной стратегии (α и α_1). Компания принимает решение по заданным правилам, описанным в предыдущем разделе, на основе наблюдения за динамикой рынка. Предполагается, что нестабильность рынков не позволяет достоверно прогнозировать его динамику на весь прогнозный период. Причем параметры α и α_1 задаются заранее. Для каждого сценария рыночной конъюнктуры ψ определяются оптимальные параметрами инвестиционной стратегии (α и α_1), которые максимизируют целевую функцию.

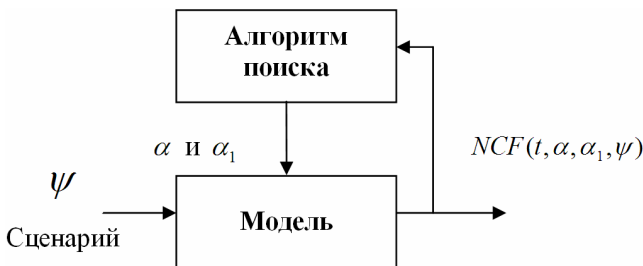


Рис. 4. Схема поиска решения задачи

Данная задача сводится к задаче двухпараметрической оптимизации, в которой значения критерия оптимальности (4) вычисляется с помощью имитационной (расчетной) модели, описанной в предыдущем разделе. Решение может быть получено с использованием имитационно-оптимизационных методов, описанных в [6]. Схема поиска решения задачи представлена на рис. 4. В качестве алгоритма поиска решения задачи можно использовать различные методы направленного перебора и методы случайного поиска.

Далее приводится иллюстративный пример анализ инвестиционных стратегий компаний с использованием предложенного подхода.

5. Результаты моделирования. Анализ стратегий

Начальные условия и коэффициенты модели. Предполагается, что в период $t = 0$ спрос и предложение на рынке сбалансированы, т.е. $B(0) = D(0) = S(0)$, и равны 10 млн. тонн в год; $P(0)$ – равновесная рыночная цена на продукцию, равная 500 долл. за тонну; $C(0)$ – себестоимость производства одной тонны продукции равна 450 долл.

В расчетах, результаты которых приведены далее, использованы следующие параметры модели.

Функция эластичности цены по величине небаланса спроса и предложения задана следующим образом: $\gamma_1 = 10$ долл./тыс. т. при положительной величине небаланса и $\gamma_1 = 5$ долл./тыс. т. при отрицательной величине небаланса.

$E_1(t) = 0,012$, т.е. при инвестировании 100 млн. долл. происходит прирост производственных мощностей компании на величину 1,2 тыс. т. за период (год); τ_1 в расчетах принята равной 2 годам, что соответствует средней продолжительности реализации инвестиционных проектов в металлургии, направленных на увеличение производственных мощностей компаний. I_{np}^1 – предельно допустимый за период объем инвестиций в проекты первого типа принят на уровне 100 млн. долл. в год.

$E_2(0) = 0,0095$, т.е. при инвестировании 100 млн. долл. происходит снижение себестоимости производства 1 тонны продук-

ции на величину 0,95 долл. Величина τ_2 в расчетах принята равной 1 году.

Данные параметры модели получены на основе анализа данных реализации инвестиционных проектов и программ ряда компаний в черной металлургии и, естественно, отражают оценку средних значений этих параметров. Для компаний других отраслей экономики данные параметры модели должны быть уточнены.

Рассматривается временной период с 2014 года по 2029 год.

Сценарий 1. В соответствии со сценарием 1 спрос на продукцию компаний на протяжении прогнозного периода растет равномерно с темпом 4% в год (рис. 5).

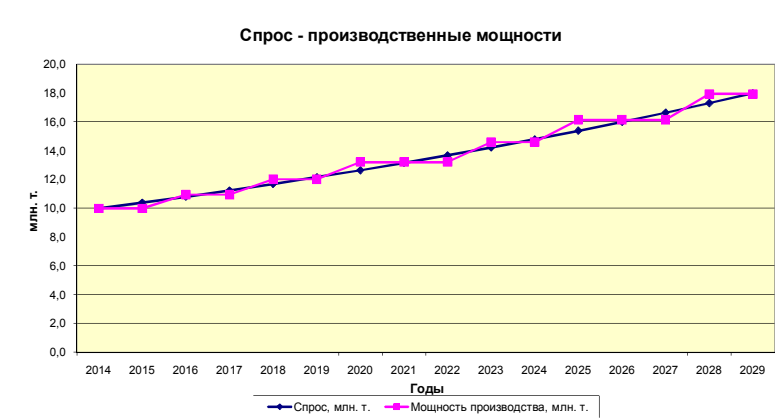


Рис. 5. График спрос – производственные мощности

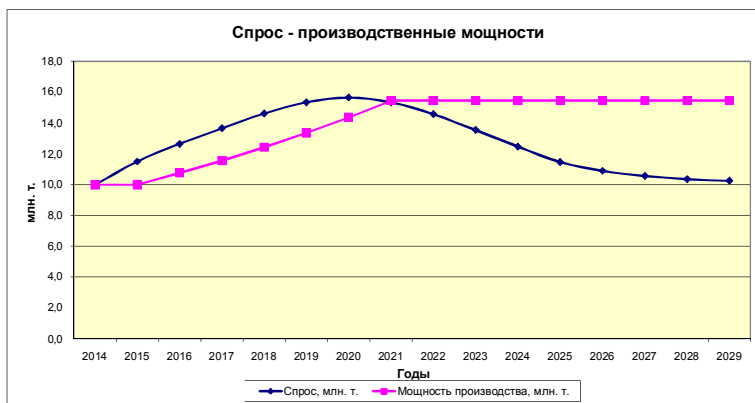
В качестве базового варианта инвестиционной стратегии компаний принят вариант с параметрами $\alpha=0,5$ и $\alpha_1=0,5$. Содержательно это означает, что компании выделяют для инвестирования половину сводных финансовых средств и эти средства делятся поровну между инвестиционными проектами первого и второго типа.

Пример результатов моделирования приведен в таблице 1. Общий объем инвестиций составляет 2196 млн. долл. Эффективность инвестиций по параметру NPV при ставке дисконтирования 5% составляет **148,0 млн. долл.**

В результате решения задачи (4) получен оптимальный вариант инвестиционной стратегии компаний с параметрами $\alpha=0,4$ и $\alpha_1=0,9$. Эффективность инвестиций по параметру NPV для этого варианта составляет **416,0 млн. долл.** Для решения задачи использовалась процедура многопараметрического поиска и с использованием разработанной имитационной модели.

На рис. 5 показана динамика роста производственных мощностей компании в результате реализации выбранной инвестиционной стратегии.

Сценарий 2. В соответствии со сценарием 2 в период 2014–2020 г.г. спрос на продукцию компаний растет с темпом 7–10% в год. После 2020 года спрос на продукцию компаний падает до уровня 2014 года (рис. 6).



Рис

. 6. График спрос – производственные мощности

Эффективность инвестиций по базовой инвестиционной стратегии по параметру NPV составляет – **216,0 млн. долл.** Это означает, что данная стратегия для компании является убыточной. Это объясняется тем, что в результате реализации этой стратегии на рынке после 2020 года образуется большое количество избыточных производственных мощностей, в результате чего, снижается цена продукции и объемы ее продаж. В этот период существенно снижается прибыль и, соответственно, денежный поток.

Таблица 1. Результаты моделирования

Период	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Спрос, млн. т.	10,0	10,4	10,8	11,2	11,7	12,2	12,7	13,2	13,7	14,2
Спрос - производство	0,0	0,4	-0,1	0,3	-0,3	0,1	-0,6	-0,1	0,5	-0,4
Цена продукции, долл./т	500,0	500,4	499,9	500,3	499,8	500,1	499,7	500,0	500,5	499,8
Продажи, млн. т.	10,0	10,0	10,8	11,0	11,7	12,0	12,7	13,2	13,2	14,2
Выручка, млн. долл.	5000	5004	5407	5483	5847	6015	6323	6579	6612	7114
Себестоимость, долл./т	450	449	449	448	447	446	445	445	444	443
Прибыль после налогов	400	409	444	460	494	518	549	581	597	643
Инвестиции всего, в том числе (млн. долл.):	160	81	175	88	192	93	91	206	88	215
– в прирост мощностей	80	0	89	0	99	0	0	116	0	129
– в снижение издержек	80	81	86	88	93	93	91	89	88	87
NCF, млн. долл.	240	328	269	372	302	426	458	376	509	428
Мощность производства, млн. т.	10,0	10,0	11,0	11,0	12,0	12,0	13,2	13,2	13,2	14,6
Дисконтированный NCF, млн. долл.	240,0	313,3	245,2	323,3	250,6	337,4	345,9	270,9	349,5	280,4

В результате решения задачи (4) получен оптимальный вариант инвестиционной стратегии компаний с параметрами $\alpha=0,2$ и $\alpha_1=0,8$. Этот вариант предусматривает существенное, по сравнению с базовым вариантом, снижение инвестиционной активности компании и увеличение доли инвестиций в проекты первого типа. Эффективность инвестиций по параметру NPV для этого варианта составляет **176,0 млн. долл.** На рис. 6 показана динамика роста производственных мощностей компании в результате реализации выбранной инвестиционной стратегии.

Сценарий 3. В соответствии со сценарием 3 в период 2014–2020 гг. спрос на продукцию компаний падает с темпом 7–10% в год. После 2020 года спрос на продукцию компаний растет до уровня, превышающего уровень спроса 2014 года (рис. 7).

Эффективность инвестиций по базовой инвестиционной стратегии по параметру NPV составляет **626,0 млн. долл.** Следуя данной стратегии, компания получит существенный убыток.

В результате решения задачи (4) получен оптимальный вариант инвестиционной стратегии компаний с параметрами $\alpha=0,2$ и $\alpha_1=0,3$. Этот вариант предусматривает существенное, по сравнению с базовым вариантом, снижение инвестиционной активности компании и увеличение доли инвестиций в проекты второго типа.

Эффективность инвестиций по параметру NPV составляет **34,0 млн. долл.** На рис. 7 показана динамика роста производственных мощностей компании в результате реализации выбранной инвестиционной стратегии.

В таблице 2 сведены результаты решения задачи. Для каждого сценария рыночной конъюнктуры найдены оптимальные параметры стратегии инвестирования компаний.

Анализ результатов показывает, что в случае реализации сценария 1 компании должны проявлять достаточно высокую инвестиционную активность ($\alpha = 0,4$), основной объем инвестиций необходимо вкладывать в проекты первого типа ($\alpha_1 = 0,9$).

В случае реализации сценария 2 может быть применена похожая стратегия, но с поправкой на снижение в два раза инвестиционной активности компании ($\alpha = 0,2$). В случае реализации сценария 3, при невысокой инвестиционной

активности, основные инвестиции необходимо направить на проекты снижения себестоимости ($\alpha_2 = 0,7$), что позволит повысить конкурентоспособность компании за счет низкой точки безубыточности.

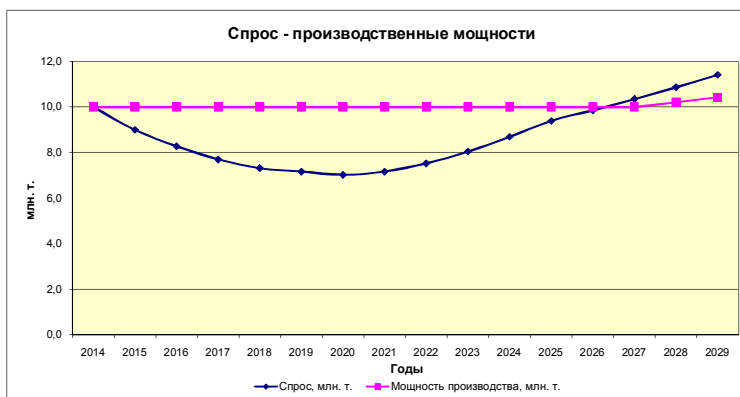


Рис. 7. График спрос – производственные мощности

Таблица 2. Результаты решения задачи

Сценарии	α	α	α
Сценарий 1	0,4	0,9	0,1
Сценарий 2	0,2	0,8	0,2
Сценарий 3	0,2	0,3	0,7

В случае высокой неопределенности (сценарии 1, 2 и 3 могут реализоваться с равной вероятностью), компания должна проводить взвешенную политику в области наращивания объемов производства и активную политику в области снижения себестоимости продукции и повышения конкурентоспособности компании. В этом случае задача оценки эффективности выбранной стратегии (проигрыша компании в случае реализации любого из сценариев) может быть исследована на основе применения, например, методов теории статистических решений.

6. Заключение

На основе предложенной методологии проведения расчетов и моделирования могут быть даны рекомендации по выбору инвестиционных стратегий компаний, которые учитывают взаимосвязь между их инвестиционной активностью и динамикой рынков, которая в свою очередь во многом определяет выбор стратегии. Подход позволяет проводить анализ и строить рациональные стратегии для различных вариантов внешних сценарных условий.

Следует заметить, что результаты моделирования достаточно чувствительны к параметрам модели. Это накладывает дополнительные требования к калибровке модели применительно к той или иной отрасли экономики.

Рассмотренные методы выбора стратегических целей и решений ориентируют компанию в некотором смысле на «интенсивный» путь развития компаний. Более широкий взгляд на стратегию развития компаний основан на понятии конкурентоспособности и конкурентных преимуществ.

Можно утверждать, что главным в процессе управления развитием компаний является желание и необходимость управленцев постоянно совершать действия, направленные на повышение ее конкурентоспособности в рамках своей, специфической «модели конкурентоспособности», сформированной и одобренной высшим руководством компании. Интенсивный путь развития должен быть встроен в стратегию развития на основе «модели конкурентоспособности» компании.

Что это означает? Компания должна постоянно предпринимать шаги, направленные на повышение своей конкурентной силы и, при наличии или прогнозировании растущего рынка, «включать» интенсивный путь развития, который также повышает конкурентную силу и одновременно увеличивают финансовые результаты компании, в том числе ее рыночную стоимость. С этих позиций стратегический анализ на предприятии является непрерывным процессом.

Литература

1. АКИНФИЕВ В.К. *Управление развитием интегрированных промышленных компаний: теория и практика (на примере черной металлургии)*. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 224 с.
2. АКИНФИЕВ В.К. *Инвестиционные стратегии компаний и цикличность рынков металлопродукции* // Управление большими системами. – 2010 – №28. – С. 179–196.
3. АКИНФИЕВ В.К. *Влияние стратегий развития компаний на динамику рынков металлопродукции* // XI Международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества: Книга 3. Отв. ред. Е.Г. Ясин; Высшая школа экономики. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2011. – С. 456–567.
4. АКИНФИЕВ В.К., ЦВИРКУН А.Д. *Проблемы управления инвестициями. Программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ»* // Проблемы управления. – 2013. – №3. – С. 32–40.
5. *Российские металлурги-должники не выживут без помощи государства* // Известия металлургии. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.metallpress.ru/news/news1832.html> (дата обращения: 26.04.2014).
6. ЦВИРКУН А.Д., АКИНФИЕВ В.К., ФИЛИППОВ В.А. *Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход)*. – М.: Наука, 1985. – 172 с.
7. ANUPINDI R, JIANG L *Capacity Investment under Postponement Strategies, Market Competition, and Demand Uncertainty* // Management Science. – 2008. – Vol. 54, No. 11. – P. 1876–1890.
8. GOYAL M, NETESSINE S *Strategic Technology Choice and Capacity Investment under Demand Uncertainty* // Management Science. – 2007. – Vol. 53, No. 2. – P. 192–207.

CHOICE OF INVESTMENT STRATEGY OF FIRMS UNDER DEMAND UNCERTAINTY

Valerij Akinfiev, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (akinf@ipu.ru).

Abstract: Intensive competition on global markets forces companies to make their investment decisions in more uncertain environment than before. We study impact of investment strategy of a firm on its financial performance and efficiency of investment under demand uncertainty. The main distinguishing feature of the proposed analysis scheme is consideration of the relationship between an alternative strategy chosen and scenario conditions (market dynamics), which is modeled as a negative feedback during simulation. This paper describes the mathematical model, which implements the proposed analytical scheme of analysis.

Keywords: investment strategy, market volatility, mathematical model, return on investment.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Р.М. Нижегородцевым

Поступила в редакцию 12.05.2014.

Опубликована 30.09.2014.

УДК 519.833
ББК 22.18

РАВНОВЕСИЕ, СДЕРЖИВАЕМОЕ КОНТРУГРОЗАМИ, И СЛОЖНОЕ РАВНОВЕСИЕ В БЕЗОПАСНЫХ СТРАТЕГИЯХ¹

Искаков М. Б.², Искаков А. Б.³
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Представлены два расширения концепции равновесий в безопасных стратегиях. В равновесии, сдерживаемом контругрозами (РСК), ни один игрок не может увеличить свой выигрыш односторонним отклонением, не создавая при этом угрозы потерять больше, чем он выигрывает. Такое условие должно соблюдаться для любых равновесий в расширенном смысле, и потому любые такие равновесия должны принадлежать множеству РСК. В качестве второго расширения рассмотрены сложные равновесия в безопасных стратегиях. Предложенная концепция позволяет выявлять иерархическую структуру взаимных угроз между игроками и будет полезна для анализа задач, в которых возможно асимметричное поведение игроков. Приведены примеры предложенных равновесий в матричных играх и общие алгоритмы их нахождения.

Ключевые слова: равновесия в безопасных стратегиях, бескоалиционные игры, асимметричное поведение.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №14-01-00131-а.

² Михаил Борисович Искаков, кандидат технических наук (mih_iskakov@mail.ru).

³ Алексей Борисович Искаков, кандидат физико-математических наук (isk_alex@mail.ru, iskakov@ipu.ru).

1. Введение

Данное исследование является прямым развитием статьи [8]. В этой работе была предложена новая формулировка концепции равновесия в безопасных стратегиях (РБС), описывающая модель осторожного поведения в некооперативных играх. Модель основана на понятии угрозы, представляющей игровую ситуацию, когда один игрок односторонним отклонением может увеличить свой выигрыш и одновременно уменьшить выигрыш другого игрока. РБС определяется двумя условиями: условием безопасности и условием отсутствия улучшающих безопасных отклонений. Условие безопасности означает, что ни для одного из игроков нет угроз. Отсутствие улучшающих безопасных отклонений означает, что ни один игрок не может односторонним отклонением увеличить свой выигрыш, не создав при этом для себя угрозы потерять больше, чем он выигрывает. Предложенное определение оказалось конструктивным и позволило обнаружить убедительные по содержательному смыслу решения в нескольких хорошо известных экономических играх, не имеющих равновесия по Нэшу: модель пространственной конкуренции Хотеллинга [7], модель борьбы за ренту Таллока [10], модель рынка страхования Ротшильда–Стиглица–Вильсона, модель рыночной дуополии Бертрана–Эджворта [8]. Предложенная концепция РБС может быть также применена к исследованию соревновательных систем стимулирования [3] и рассматриваться в качестве одного из перспективных направлений теоретико-игрового моделирования [1].

В предлагаемом исследовании была сделана попытка ослабить условия РБС, чтобы расширить и обобщить понятие данного равновесия. Авторы стремились получить такое обобщение, которое имело бы убедительный экономический смысл при разрешении известных игровых задач и сохраняло бы общую логику РБС, основанную на понятии угрозы. В определении РБС заложено предположение, что каждый игрок избегает угроз (условие безопасности). Это условие является довольно «сильным». Для ряда игр (например, в модели продуктового соревно-

вания или в модели Бертрана–Эджворта при некоторых значениях параметров) анализ с точки зрения наличия угроз показал, что любой профиль обязательно содержит угрозы для тех или иных игроков. В то же время некоторые угрозы являются «потенциальными» и не реализуются на практике, поскольку недостаточно обоснованы. В таком случае игроки отказываются от их применения. Было бы естественно предположить, что в этих случаях участники игры также руководствуются соображениями безопасности, но учитывают не все угрозы, а только обоснованные в том или ином смысле.

Самым естественным ослаблением требований РБС является просто отбрасывание требования первого условия (безопасности). Можно рассмотреть положение, когда ни один игрок не может односторонним отклонением увеличить свой выигрыш, не создав при этом угрозы потерять больше, чем он выигрывает. Такое положение можно назвать равновесием сдерживаемым контругрозами (РСК), поскольку в нём на любое улучшающее одностороннее отклонение игрока существует «контругроза». Достоинством такого подхода является существование равновесий для очень многих игр (хотя в статье приводится пример игры, для которой РСК не существует). Но основной недостаток является другой стороной достоинства: равновесий оказывается много, и возникает проблема выбора игроками из этого множества РСК наиболее устойчивых в каком-то смысле точек.

Дальнейшей целью исследования было предложить такое ослабление определения РБС и усиление определения РСК, которое могло бы убедительно «поймать» и описать логику безопасного поведения игроков, когда они учитывают не все существующие угрозы, а более узкий класс обоснованных угроз. Поскольку РБС исключает все угрозы, а РСК – разрешает их, то избирательный подход к угрозам задает промежуточное положение. Основанием избирательности при рассмотрении угроз, какие из них учитывать, а какие – игнорировать, был избран принцип декомпозиции угроз по игрокам. В определении сложного РБС множество игроков делится на классы, которые неодинаково относятся к угрозам друг друга, а именно: игрок в

своим поведением учитывает угрозы, исходящие от игроков своего или более высокого класса, и игнорирует угрозы от игроков более низкого класса. Такой подход был предложен в [2] для исследования задачи многопартийной конкуренции Даунса. Предложенное определение сложного РБС позволяет исследовать несимметричные относительно игроков взаимодействия. Такая несимметрия игроков на практике может определяться как внешними параметрами – размером их ресурсов, положением на рынке, неодинаковыми правилами игры и т.п., так и складываться стихийно в ходе игры посредством рационального выбора ролей самими игроками. Не вдаваясь в подробности, зависящие от специфики конкретной модели, мы просто предполагаем, что на множестве игроков либо задана предварительно, либо возникает спонтанно в ходе самой игры упорядоченность игроков по степени учета угроз друг друга.

Вводимые определения поясняются на матричных примерах. После введения общего определения сложного РБС дальнейшее рассмотрение сосредотачивается на наиболее простых случаях. В цепочечных РБС каждый класс состоит только из одного игрока. Таким образом, для игр двух участников существуют только три случая: простое РБС и две симметричных цепочки, в которых один из игроков считает для себя возможными только безопасные стратегии, а другой допускает такие угрозы, на которые он может ответить контругрозами. Для этого случая доказано два результата. Во-первых, в игре с непрерывными целевыми функциями точка Штакельберга является слабым сложным РБС. Во-вторых, для широкого класса разрывных игр двух участников сложное ε -РБС существует всегда.

Статья организована следующим образом. В разделе 2 мы напомним необходимые определения из нашей предыдущей работы. В разделе 3 представлена концепция РСК и указан конструктивный способ выделения множества РСК. Концепция сложных РБС представлена в разделе 4, где приведены примеры таких равновесий в матричных играх и общий алгоритм их нахождения. В следующем разделе мы обобщаем концепцию наилучшего безопасного ответа из [8] применительно к слож-

ным РБС и доказываем, что всякое сложное РБС является наилучшим избирательно безопасным ответом. В разделе 6 исследуются сложные РБС в играх двух участников и их связь с концепцией точек Штакельберга. Наконец, в разделе 7 сформулированы ε -ослабления для предлагаемых концепций, которые могут оказаться полезными при исследовании разрывных игр.

2. Равновесие в безопасных стратегиях

Равновесия в безопасных стратегиях были предложены в работах [2, 6]. Напомним в этом разделе определения РБС в новой форме из статьи [8], которые нам понадобятся в качестве основы для дальнейших построений. Рассмотрим произвольную игру в нормальной форме $\Gamma = \{N, X, U(X)\}$.

Определение 1. *Угрозой игрока j игроку i ($j \rightarrow i$) называется пара профилей $\{x, (x'_j, x_{-j})\}$ такая, что $u_j(x'_j, x_{-j}) > u_j(x)$ и $u_i(x'_j, x_{-j}) < u_i(x)$. При этом профиль x называется **содержащим угрозой**, а профиль $\{x, (x'_j, x_{-j})\}$, так же как и стратегия x'_j , называются **угрожающими** игроку i со стороны игрока j .*

Определение 2. *Стратегия x_i игрока i называется **безопасной стратегией** при заданной обстановке x_{-i} , если профиль x не содержит угроз игроку i . Профиль стратегий x называется **безопасным профилем**, если все его стратегии безопасны.*

Множество всех профилей, в которых стратегии игрока i безопасны, будем обозначать как $Q_i \subseteq X$, а множество всех безопасных профилей как $Q \subseteq X$.

Определение 3. *Безопасным отклонением игрока i от профиля x называется стратегия x'_i такая, что $u_i(x'_i, x_{-i}) \geq u_i(x)$ и $u_i(x'_i, x'_j, x_{-ij}) \geq u_i(x)$ для любой угрозы $\{(x'_i, x_{-i}), (x'_i, x'_j, x_{-ij})\}$ игрока j игроку i .*

Определение 4. *Безопасный профиль стратегий называется **равновесием в безопасных стратегиях (РБС)**, если ни один игрок не может увеличить свой выигрыш безопасным отклонением.*

Чтобы для каждой игры сделать более наглядной силу угроз, содержащихся в стратегиях и профилях, определим соот-

ветствующую ей игру максимальных угроз с функцией выигрыша с учетом угроз.

Определение 5. Для заданной игры $\Gamma = \{N, X, U(X)\}$ игрой **максимальных угроз** называется игра $\bar{\Gamma} = \{N, X, V(X)\}$ с целевыми функциями

$$v_i(x) = \begin{cases} \inf_{j \neq i, x'_j: u_j(x'_j, x_{-j}) > u_j(x)} u_i(x'_j, x_{-j}), & \text{если } x_i - \\ & \text{небезопасная стратегия для игрока } i \\ u_i(x), & \text{если } x_i - \text{безопасная стратегия для игрока } i \end{cases}$$

Функцию $v_i(x)$ назовём **функцией выигрыша с учетом угроз** игрока i .

Также определим ослабления определений РБС из [8], которые нам потребуются в дальнейшем.

Определение 6. **Безопасное отклонение** x'_i игрока i от профиля x называется **слабым**, если существует угроза $\{(x'_{i-1}, x_{-i}), (x'_i, x'_j, x_{-ij})\}$ игрока j игроку i такая, что $u_i(x'_i, x'_j, x_{-ij}) = u_i(x)$. В противном случае безопасное отклонение x'_i называется **строгим**.

Определение 7. **Безопасный профиль** называется **слабым РБС**, если ни один игрок не может увеличить свой выигрыш строгим безопасным отклонением.

3. Равновесие сдерживаемое контругрозами

Естественное обобщение РБС можно получить путём отказа от условия безопасности профиля в определении РБС. Такая возможность впервые предложена в [9].

Определение 8. Профиль стратегий называется **равновесием, сдерживаемым контругрозами (РСК)**, если ни один игрок не может увеличить свой выигрыш безопасным отклонением.

Выбранное название определяется тем обстоятельством, что любые отклонения от профиля РСК блокируются «контругрозами» в следующем смысле.

Определение 9. Отклонение x'_i от профиля x такое, что $u_i(x'_i, x_{-i}) \geq u_i(x)$, называется **сдерживаемым**, если (x'_i, x_{-i}) содержит угрозу игроку i : $\{(x'_i, x_{-i}), (x'_i, x'_j, x_{-ij})\}$ такую, что $u_i(x'_i, x'_j, x_{-ij}) < u_i(x)$. Эта угроза называется **контругрозой** игрока j на отклонение x'_i .

Тогда РСК можно определить следующим эквивалентным образом.

Определение 10. Профиль стратегий называется **равновесием сдерживаемым контругрозами (РСК)**, если на любое улучшающее отклонение игрока существует контругроза.

Определим также ослабление РСК, которое будет полезно в дальнейшем.

Определение 11. Профиль называется **слабым РСК**, если ни один игрок не может увеличить свой выигрыш строгим безопасным отклонением.

Найдем теперь множество всех РСК. Для произвольной игры в нормальной форме $\Gamma = \{N, X, U(X)\}$ построим игру максимальных угроз $\bar{\Gamma} = \{N, X, V(X)\}$. Для всех $i \in N$ и всех $x_{-i} \in X_{-i}$ рассмотрим множество

$$(1) \quad \Psi_i(x_{-i}) = \left\{ x_i : u_i(x_i, x_{-i}) \geq \sup_{x'_i \in X_i} v_i(x'_i, x_{-i}) \right\} \subseteq X_i.$$

Введем следующие множества:

$$(2) \quad Y_i = \{x : x_i \in \Psi_i(x_{-i})\} \subseteq X, \quad Y = \bigcap_{i=1}^N Y_i.$$

Тогда множество РСК можно охарактеризовать следующим образом.

Утверждение 1. Множество Y , введённое в (2), является множеством всех слабых РСК игры Γ .

Доказательство непосредственно вытекает из введённых определений. Множество $\Psi_i(x_{-i})$ – множество стратегий игрока i при окружении x_{-i} , из которых он не может увеличить свой выигрыш строгим безопасным отклонением. Y_i – множество профилей, в которых игрок i не может увеличить свой выигрыш строгим безопасным отклонением.

Предложенная концепция позволяет «поймать» возможные равновесия там, где «не срабатывают» концепции равновесия Нэша и РБС. Простым примером такого РСК является положение в игре дилеммы заключённого, когда оба игрока выбирают стратегию «молчать». В недавней презентации [11], посвящённой исследованию РСК (под наименованием: «равновесие Нэша 2»), были приведены примеры таких равновесий и доказан важный результат, что в любой строго соревновательной игре существует РСК. В то же время во многих играх множество РСК оказывается слишком широким, и возникает проблема отбора равновесий. Приведём пример игры, в которой РСК не существует.

Пример 1. Игра трёх игроков, в которой нет РСК.

	b_1	b_2
c_1 : a_1	(0,0,0)	(1,2,2)
a_2	(2,2,1)	(2,1,2)

	b_1	b_2
c_2 : a_1	(2,1,2)	(2,2,1)
a_2	(1,2,2)	(0,0,0)

$$Y_a = \{(a_2, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_1), (a_1, b_1, c_2), (a_1, b_2, c_2)\}$$

$$Y_b = \{(a_1, b_2, c_1), (a_2, b_1, c_1), (a_1, b_2, c_2), (a_2, b_1, c_2)\}$$

$$Y_c = \{(a_1, b_2, c_1), (a_2, b_2, c_1), (a_1, b_1, c_2), (a_2, b_1, c_2)\}$$

$$Y = Y_a \cap Y_b \cap Y_c = \emptyset$$

С другой стороны, здесь имеется цикл угроз:

$$\begin{aligned} (a_1 b_2 c_1) &\xrightarrow{a \rightarrow b} (a_2 b_2 c_1) \xrightarrow{b \rightarrow c} (a_2 b_1 c_1) \xrightarrow{c \rightarrow a} \\ (a_2 b_1 c_2) &\xrightarrow{a \rightarrow b} (a_1 b_1 c_2) \xrightarrow{b \rightarrow c} (a_1 b_2 c_2) \xrightarrow{c \rightarrow a} (a_1 b_2 c_1) \end{aligned}$$

Вероятно, в полиматричных играх отсутствие РСК должно быть связано именно с наличием таких циклов, в которых на каждом шаге какой-либо игрок улучшает свое положение, но, может быть, реализуя угрозу другому игроку, который таким же образом улучшает свое положение на другом шаге этого же цикла, который расположен до данного шага более чем на одно звено.

4. Сложное равновесие в безопасных стратегиях

Следующий шаг в построениях – опираясь на близость двух конструкций равновесия, РБС и РСК, попытаться построить промежуточное множество, более узкое, чем РСК, но более широкое, чем РБС. Поскольку различие между РБС и РСК по определению заключается в том, что РСК разрешает все угрозы, а РБС запрещает их, то такой промежуточный подход может задаваться посредством избирательности при рассмотрении разных угроз, признании части из них серьёзными, обоснованными, и игнорировании остальных. В качестве основания такой избирательности предлагается взять декомпозицию угроз по игрокам, от которых они исходят. В дальнейшем определении сложного РБС множество игроков делится на классы, которые неодинаково относятся к угрозам друг друга. Игрок, принадлежащий к определенному классу, выбирая свои избирательно безопасные стратегии, учитывает (т.е. избегает) угрозы, исходящие от игроков своего или более высокого класса, и игнорирует (т.е. допускает) угрозы от игроков более низкого класса. Руководствуясь изложенным смыслом, сформулируем строгие определения.

Определение 12. Стратегия x_i игрока i в профиле x называется *безопасной от угроз игрока $j \neq i$* при заданных стратегиях других игроков x_{-i} , если профиль x не содержит угроз для игрока i со стороны игрока j .

Определение 13. *Безопасным от угроз игрока j отклонением игрока i , $j \neq i$, от профиля x называется стратегия x'_i такая, что $u_i(x'_i, x_{-i}) \geq u_i(x)$ и $u_i(x'_i, x'_j, x_{-ij}) \geq u_i(x)$ для любой угрозы $j \rightarrow i$: $\{(x'_i, x_{-i}), (x'_i, x'_j, x_{-ij})\}$.*

Определение 14. Профиль стратегий называется *сложным РБС*, если существует разбиение множества игроков N на непустые и непересекающиеся подмножества N_1, \dots, N_m такие, что стратегия каждого игрока из множества N_l является безопасной от угроз игроков из множества $\bigcup_{1 \leq k \leq m} N_k$, и каждый игрок из множества N_l не может увеличить свой выигрыш отклонением, безопасным от угроз игроков множества

$\bigcup_{1 \leq k \leq m} N_k$. Сложное РБС называется **цепочечным**, если все множества N_i состоят только из одного игрока.

Важно отметить, что хотя в сложном РБС допускаются угрозы игрокам более высоких классов со стороны игроков более низких классов, но все такие угрозы (согласно определению) будут небезопасными отклонениями для самих игроков более низких классов. Иными словами, все угрозы, существующие в сложном РБС, сдерживаются контругрозами, т.е. «безнаказанных» угроз в нём нет.

Отметим также следующий факт. Если условие безопасности профиля рассматривается относительно угроз со стороны игроков из более узкого множества, то множество потенциальных равновесий расширяется. Однако когда рассматриваются профили, в которых отсутствуют отклонения, безопасные относительно угроз более узкого множества игроков, то множество таких профилей сужается. Поэтому приведённое определение в частности подразумевает, что в сложном РБС ни у кого из игроков нет безопасных улучшающих отклонений (т.е. безопасных относительно всех угроз).

В качестве ослабления приведённого выше определения введём также понятие слабого равновесия.

Определение 15. Профиль стратегий называется **слабым сложным РБС**, если существует разбиение множества игроков N на непустые и непересекающиеся подмножества N_1, \dots, N_m такие, что стратегия каждого игрока из множества N_i является безопасной от угроз игроков из множества $\bigcup_{1 \leq k \leq m} N_k$, и каждый игрок из множества N_i не может увеличить свой выигрыш строгим безопасным отклонением от угроз игроков множества $\bigcup_{1 \leq k \leq m} N_k$.

Обозначим множество РБС как $X_{РБС} \subseteq X$, множество РСК как $X_{РСК} \subseteq X$ и множество сложных РБС как $X_{СРБС} \subseteq X$. Тогда справедливо следующее включение:

Утверждение 2. $X_{РБС} \subseteq X_{СРБС} \subseteq X_{РСК}$.

Доказательство. $X_{РБС} \subseteq X_{СРБС}$, поскольку РБС является сложным РБС с разбиением $N = N_1$.

$X_{СРБС} \subseteq X_{РСК}$, поскольку в сложном РБС любой игрок из N_l не может увеличить свой выигрыш отклонением безопасным от игроков из множества $\bigcup_{l \leq k \leq m} N_k$, и следовательно, он тем более не может увеличить свой выигрыш отклонением безопасным от угроз игроков из более широкого множества N . \square

Следствие 1. *Всякое сложное РБС лежит в множестве Y , введённом в (2).*

Пример 2. Сложное РБС в игре двух игроков. Пусть два игрока-государства могут выбирать одну из двух стратегий: первая – миролюбивая, вторая – агрессивная. Первый игрок является развитым (богатым) государством, второй игрок – отсталым (бедным). Матрица выигрышей:

$$\begin{pmatrix} (0, 0) & (-3, 2) \\ (-1, 1) & (-2, -2) \end{pmatrix}$$

Миролюбивая нейтральная политика стран дает базисные нулевые размеры выигрышей – (0, 0). Мирная оккупация отсталой страны дает ей доступ к возможностям развитой страны, а для развитой страны она означает неэффективные траты ресурсов на колонию – это соответствует выигрышам (–1, 1). Агрессия отсталой страны против неготовой к этой агрессии передовой означает большие потери для передовой страны и выигрыш для отсталой – получаем выигрыши (–3, 2). И наконец, двусторонняя война дает большие потери для обеих сторон (–2, –2). В игре нет равновесий Нэша и РБС, найдём множество Y .

$$Y_1 = \{(мир, мир), (война, мир), (война, война)\},$$

$$Y_2 = \{(мир, мир), (мир, война), (война, мир)\},$$

$$Y = Y_1 \cap Y_2 = \{(мир, мир), (война, мир)\}.$$

В множестве Y имеются следующие сложные РБС. Сложное РБС (мир, мир) с выигрышами (0, 0): $N_1 = \{2\}$, $N_2 = \{1\}$. Отсталая страна безопасна, так как развитой невыгодно начинать войну. Развитая страна имеет угрозу войны от отсталой, но эта угроза сдерживается контругрозой ответной войны. Сложное РБС (война, мир) с выигрышами (–1, 1): $N_1 = \{1\}$, $N_2 = \{2\}$. Развитая страна безопасна, так как отста-

лой оккупация выгодней, чем борьба за освобождение. Отсталая страна имеет от развитой угрозу окончания оккупации, но эта угроза сдерживается контругрозой агрессии со стороны освободившейся колонии.

Пример 3. Сложное РБС в игре трёх игроков. Аналогичная ситуация, но игроков три: первый – развитый, второй – средний, третий – отсталый. Стратегий по-прежнему две: мир (м) и война (в). Предполагается, что агрессия направляется одновременно на обоих соседей. Матрица выигрышей:

c_1 :		b_1	b_2		c_2 :	b_1	b_2
a_1		(0,0,0)	(-3,2,1)		a_1	(-3,-3,2)	(-3,-2,-2)
a_2		(-1,1,1)	(-2,-2,1)		a_2	(-2,-3,-2)	(-2,-2,-2)

В игре нет равновесий Нэша и РБС, найдём множество Y .

$$Y_1 = \{(m, m, m), (v, m, m), (v, v, m), (v, m, v), (v, v, v)\},$$

$$Y_2 = \{(m, m, m), (m, v, m), (v, m, m), (m, v, v), (v, v, v)\},$$

$$Y_3 = \{(m, m, m), (m, v, m), (v, m, m), (v, v, m), (m, m, v), (m, v, v)\},$$

$$Y = Y_1 \cap Y_2 \cap Y_3 = \{(m, m, m), (v, m, m)\}.$$

В множестве Y имеются следующие сложные РБС. Сложное РБС (*мир, мир, мир*) с выигрышами (0, 0, 0): $N_1 = \{3\}$, $N_2 = \{2\}$, $N_3 = \{1\}$. Это *цепочечное* сложное РБС: агрессивность третьего игрока сдерживается контругрозой со стороны как первого, так и второго, агрессивность второго – контругрозой со стороны первого, а первому агрессивность невыгодна. Сложное РБС (*война, мир, мир*) с выигрышами (-1, 1, 1): $N_1 = \{3\}$, $N_2 = \{2, 3\}$. Развитая страна оккупирует две других, и они оказываются в выгодном положении модернизируемых колоний. Но развитая страна не может уйти из колоний из-за контругрозы появления в них агрессивности. Разумеется, данный пример не претендует на адекватность изображения отношений между государствами. Он только иллюстрирует содержательный смысл понятия сложного РБС.

Исследуем теперь более подробно множество сложных РБС. Укажем алгоритм проверки, что профиль u является сложным РБС. Прежде всего, в соответствии с утверждениями 1 и 2,

профиль y должен лежать в множестве Y . Поэтому рассмотрим произвольный профиль $y \in Y$. Рассмотрим тех игроков (если они существуют), стратегии которых в этом профиле безопасны. Выберем некоторое подмножество таких игроков I_1 . Зафиксируем стратегии этих игроков $y_{i_1}, i_1 \in I_1$. Рассмотрим игру оставшихся игроков:

$$\Gamma_{\setminus 1} = \{N \setminus I_1, X_i, u_i(x_{-i_1}, y_{i_1}), -i_1 \in N \setminus I_1, i_1 \in I_1\}.$$

Набор стратегий игры обозначим как $x^{\setminus 1} \in X_{\setminus 1}$. Рассмотрим игрока $i \in M_1$ в игре $\Gamma_{\setminus 1}$. Его функция выигрыша с учётом угроз в соответствующей игре максимальных угроз $\bar{\Gamma}_{\setminus 1}$:

$$v_i^{\setminus 1}(x_i, x_{-i}^{\setminus 1}) \geq v_i(x_i, x_{-i}), x_{-i}^{\setminus 1} \in X_{\setminus 1} \setminus X_i.$$

Новой игре соответствует новое множество равновесий, сдерживаемых контругрозами $Y_{\setminus 1}$. Предположим, что $y^{\setminus 1} \in Y_{\setminus 1}$. Так как для игры $\Gamma_{\setminus 1}$

$$u_i^{\setminus 1}(x_i, x_{-i}^{\setminus 1}) = u_i(x_i, x_{-i}, y_{i_1}) \text{ и } v_i^{\setminus 1}(x_i, x_{-i}^{\setminus 1}) \geq v_i(x_i, x_{-i}, y_{i_1}),$$

то множество $Y_{\setminus 1}$ может быть уже или равно, чем соответствующий срез множества Y : $Y_{\setminus 1} \subseteq \{x^{\setminus 1} : (x^{\setminus 1}, y_{i_1}) \in Y\}$. Таким образом, в новой игре могут появляться новые игроки, стратегии которых безопасны в точке $y^{\setminus 1}$ проекции точки y на множество $X_{\setminus 1}$.

Выделим подмножество I_2 игроков, имеющих безопасные стратегии в точке $y^{\setminus 1}$ в игре $\Gamma_{\setminus 1}$. Тогда можно зафиксировать, в свою очередь, эти безопасные стратегии игроков из множества I_2 и аналогичным образом построить новую усеченную игру $\Gamma_{\setminus 2}$. Такой процесс построения множеств I_k и $\Gamma_{\setminus k}$ может продолжаться до тех пор, пока на некотором шаге m не произойдет один из двух случаев. Во-первых, всё множество игроков может исчерпаться, т.е. может оказаться, что

$$(3) \quad N = \bigcup_{k=1}^m I_k.$$

Во-вторых, может оказаться, что $y^{(m-1)} \notin Y_{(m-1)}$ либо стратегии всех игроков усеченной игры не являются безопасными, т.е.

$$(4) \quad y^{(m-1)} \notin Y_{(m-1)} \quad \text{либо} \quad I_m = \emptyset, N \neq \bigcup_{k=1}^m I_k.$$

Утверждение 3. Профиль y является сложным РБС тогда и только тогда, когда существует ветвь алгоритма, для которой выполняется (3).

Доказательство. Достаточность. Пусть выполняется (3). Для произвольного игрока $i \in I_k$ на k -м шаге алгоритма имеется игра $\Gamma_{\setminus k-1}$ с игроками из множества $N \setminus \bigcup_{1 \leq l \leq k-1} I_l = \bigcup_{k \leq l \leq m} I_l$. В данной игре игрок i из множества I_k имеет безопасную стратегию. То есть игрок i в игре Γ имеет безопасную стратегию от игроков из множества $\bigcup_{k \leq l \leq m} I_l$. Кроме того, в алгоритме предполагается, что профиль $y^{(k-1)} \in X_{(k-1)}$ принадлежит множеству РСК $Y_{\setminus k-1}$ игры $\Gamma_{\setminus k-1}$, т.е. игрок i не может увеличить свой выигрыш безопасным отклонением в игре $\Gamma_{\setminus k-1}$. Следовательно, игрок i не может увеличить свой выигрыш отклонением, безопасным от угроз игроков из множества $\bigcup_{k \leq l \leq m} I_l$ в игре Γ . Два доказанных свойства являются определением сложного РБС с множествами $N_k = I_k, k = 1, \dots, m$.

Необходимость. Пусть y – сложное РБС с множествами игроков $N_l, l = 1, \dots, m$. Тогда игроки из множества N_1 имеют в игре Γ стратегии, безопасные от любых игроков, и не могут увеличить свой выигрыш безопасным отклонением. Выберем $I_1 = N_1$ и получим игру $\Gamma_{\setminus 1}$ и т.д. Рассмотрим игру $\Gamma_{\setminus k-1}$ на k -м шаге. Так как в игре Γ игрок $i \in N_k$ имеет стратегию, безопасную от игроков из множества $\bigcup_{k \leq l \leq m} N_l$, и не может увеличить свой выигрыш отклонением, безопасным от игроков из множества $\bigcup_{k \leq l \leq m} N_l$, то в игре $\Gamma_{\setminus k-1}$ с множествами $I_l = N_l, l = 1, \dots, k-1$, этот же игрок i имеет безопасную стратегию и не может увеличить свой выигрыш безопасным отклонением. \square

Таким образом, поиск сложных РБС сводится к поиску в множестве Y точек, для которых выполняется (3). На первом шаге процесса нахождения множества сложных РБС игры требуется найти в Y профили, безопасные хотя бы для одного игрока, т.е. профили из $Y \cap Q_i, i \in N$, где Q_i – множества профилей, в которых стратегии игрока i безопасны. Для любого $x \in Y$ верно

$u_i(x) \geq \max_{x'_i \in X_i} v_i(x'_i, x_{-i})$. Для любого $x \in Q_i$ верно

$u_i(x) = v_i(x) \leq \max_{x'_i \in X_i} v_i(x'_i, x_{-i})$. То есть искомые профили

$x \in Y \cap Q_i$ будут экстремальными точками, минимизирующими на множестве Y и максимизирующими на множестве Q_i выигрыш игрока i . Множество сложных РБС лежит внутри множества всех таких экстремальных точек:

$$X_{\text{РБС}} \subseteq \bigcup_{i \in N} (Y \cap Q_i).$$

На следующем шаге для найденных точек следует провести декомпозицию игры по игрокам и для полученных игр с меньшим количеством игроков найти точки, безопасные для кого-либо из оставшихся. Конечно, в общем случае такой «алгоритм» действий, требующий нахождения избирательно безопасных профилей в континуальном количестве декомпозированных игр (для каждой точки $x \in \bigcup_{i \in N} (Y \cap Q_i)$ получается своя игра) выглядит

абсолютно нереализуемым. Но, тем не менее, можно надеяться, что анонимность игр, их симметрия по игрокам, соображения экстремальности искомых точек на множествах Y и Q_i по целевым функциям отдельных игроков позволит для многих игр провести их декомпозицию по игрокам и рекурсивный поиск сложных РБС.

5. Наилучшие избирательно безопасные ответы

В [8] для анализа РБС использовалось понятие наилучшего безопасного ответа. Приведём здесь соответствующее определение и обобщим его применительно к случаю сложного РБС. Обозначим как $Q_{(i)}(x_{-i}) \subseteq X_i$ множество безопасных стратегий игрока i при заданном окружении x_{-i} . Доопределим $Q_{(i)}(x_{-i}) = \emptyset$, если при таком окружении не существует безопасных стратегий для игрока i .

Определение 16. Стратегия x_i называется **наилучшим безопасным ответом** на стратегии окружения x_{-i} , если

$$(5) \quad x_i \in Q_{(i)}(x_{-i}) \text{ и } u_i(x_i, x_{-i}) = \max_{x'_i \in Q_{(i)}(x_{-i})} u_i(x'_i, x_{-i}).$$

Рассмотрим игрока i и некоторое множество других игроков $L \subset N, i \notin L$. Обозначим как $Q_{(i)}^L(x_{-i})$ множество стратегий игрока i , безопасных от угроз игроков из множества L при заданном окружении x_{-i} . Если таких безопасных стратегий нет, то будем считать $Q_{(i)}^L(x_{-i}) = \emptyset$.

Определение 17. Стратегия x_i называется **наилучшим избирательно безопасным** от игроков из множества L **ответом** на стратегии окружения x_{-i} , если

$$(6) \quad x_i \in Q_{(i)}^L(x_{-i}) \text{ и } u_i(x_i, x_{-i}) = \max_{x'_i \in Q_{(i)}^L(x_{-i})} u_i(x'_i, x_{-i}).$$

Для некоторых окружений x_{-i} может оказаться $Q_{(i)}^L(x_{-i}) = \emptyset$ (или даже $Q_{(i)}(x_{-i}) = \emptyset$). В этом случае наилучший избирательно безопасный ответ (наилучший безопасный ответ) не определен.

Теперь можно сформулировать утверждение, связывающее понятия наилучшего избирательно безопасного ответа и сложного РБС, являющееся обобщением аналогичного утверждения для наилучшего безопасного ответа и РБС в [8].

Утверждение 4. Пусть x^* – сложное РБС с множествами игроков N_1, \dots, N_m . Тогда для каждого игрока $i \in N_l, 1 \leq l \leq m$, стратегия x^*_i будет наилучшим избирательно безопасным от игроков из множества $\bigcup_{k \leq m} N_k$ ответом на стратегии окружения x^*_{-i} . Обратное неверно.

Доказательство. Пусть x^* – сложное РБС с множествами игроков N_1, \dots, N_m . Рассмотрим $i \in N_l, 1 \leq l \leq m$. Из определения сложного РБС: x^*_i – безопасно от угроз игроков из множества $\bigcup_{k \leq m} N_k$. Если допустим, что в окружении x^*_{-i} существует отклонение x'_i , безопасное от игроков из множества $\bigcup_{k \leq m} N_k$, такое, что $u_i(x'_i, x^*_{-i}) > u_i(x^*_i, x^*_{-i})$, то игрок i может увеличить свой выигрыш избирательно безопасным отклонением в x'_i . Тогда x^* не является сложным РБС с множествами игроков $i \in N_l, 1 \leq l \leq m$. Обратное утверждение неверно. Контрпример:

$$\begin{pmatrix} (0, 0) & (2, 2) & (2, 2) \\ (2, 2) & (1, 3) & (3, 1) \\ (2, 2) & (3, 1) & (1, 3) \end{pmatrix}.$$

Профиль $(0, 0)$ является профилем наилучших безопасных ответов, но не является РБС. \square

Следствие 2. Если $i \in N_1$, то x_i^* – наилучший безопасный ответ на x_{-i}^* . Если $\{i\} = N_m$, то x_i^* – наилучший ответ на x_{-i}^* .

6. Сложные РБС и точки Штакельберга в играх двух участников

В играх двух участников имеет место очень упрощенный случай, когда угрозы и контругрозы могут исходить только от одного единственного соперника. Это позволяет существенно упростить анализ игры за счет исключения ситуации «треугольника», когда, например, контругрозу осуществляет не тот игрок, на которого напали, а третий. Это позволяет использовать понятие точек Штакельберга [12], которое именно для игр двух сторон оказывается тесно связанным с понятием сложного РБС. Рассмотрим матричную или непрерывную игру $\Gamma = \{\{1, 2\}, (X_1, X_2), u_1(x_1, x_2), u_2(x_1, x_2)\}$ с компактными пространствами стратегий X_i и непрерывными целевыми функциями u_i . Следуя, например [4], определим точку Штакельберга для игрока $i \in \{1, 2\}$:

Определение 18. Профиль x^* называется *точкой Штакельберга*, если для $i \in \{1, 2\}$ выполняется

$$(7) \quad \begin{aligned} x_i^* &\in \arg \max_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x_{-i}), \\ x_{-i}^* &\in \arg \max_{x'_{-i} \in X_{-i}} \left(\min_{\substack{x''_i \in \arg \max_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x'_{-i}) \\ x'_i \in X_i}} u_{-i}(x''_i, x'_{-i}) \right). \end{aligned}$$

Определим связь между сложными РБС и точками Штакельберга.

Утверждение 5. Точка Штакельберга (7) в игре двух участников Γ является слабым сложным РБС. Обратное неверно.

Доказательство. Пусть x^* – точка Штакельберга (7). Поскольку $x_i^* \in \arg \max_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x_{-i}^*)$, то игрок i не может увеличить свой выигрыш, и с его стороны не существует угроз. Рассмотрим

рим любое улучшающее отклонение x'_{-i} игрока $-i$. В новом профиле содержится угроза $\{(x^*_{is}, x'_{-i}), (x'_{is}, x'_{-i})\}$, где

$$u_i(x'_i, x'_{-i}) = \max_{x''_i \in X_i} u_i(x''_i, x'_{-i}),$$

$$u_{-i}(x'_i, x'_{-i}) = \min_{\substack{x'''_i \in \text{arg max}_{x''_i} u_i(x''_i, x'_{-i}) \\ x'''_i \in X_i}} u_{-i}(x'''_i, x'_{-i}),$$

и, следовательно, $u_{-i}(x'_i, x'_{-i}) \leq u_{-i}(x^*)$. Если последнее неравенство выполняется строго, то отклонение x'_{-i} является небезопасным. Если оно выполняется как равенство, то даже если отклонение x'_{-i} и является безопасным, оно является слабым безопасным отклонением. Следовательно, x^* – слабое сложное РБС с множествами $N_1 = \{-i\}$, $N_2 = \{i\}$.

Обратное неверно. Рассмотрим игру с двумя равновесиями Нэша. Пусть в первом из них выигрыши обоих игроков равны 2, а во втором они равны 1. Второе равновесие Нэша будет сложным РБС, но не будет точкой Штакельберга. \square

Отсюда получаем следующий результат по существованию сложного РБС в игре двух участников.

Утверждение 6. *В любой игре двух участников с компактными пространствами стратегий и непрерывными целевыми функциями существует слабое сложное РБС.*

Доказательство. Следует из того, что все максимумы и аргмаксимумы в (7) всегда достигаются на компактных пространствах. Поэтому по крайней мере точки Штакельберга (7) всегда существуют. \square

Тем не менее, множество сложных РБС шире, чем множество точек Штакельберга. Можно привести простой пример игры со сложным РБС, которое не является ни точкой Штакельберга, ни (обычным) РБС.

Пример 4. Сложное РБС в игре двух участников, не являющееся точкой Штакельберга. Рассмотрим следующую матричную игру:

	t_1	t_2	t_3
s_1	(0, 0)	(1, 2)	(4, 1)
s_2	(3, 2)	(2, 0)	(-1, 0)

Легко проверить, что обе точки Штакельберга совпадают с профилем (s_2, t_1) с выигрышами $(3, 2)$. Однако профиль (s_1, t_3) с выигрышами $(4, 1)$ также является сложным РБС с порядком игроков $(\{t\}, \{s\})$. Он не является (обычным) РБС, поскольку существует угроза игрока t отклониться из (s_1, t_3) в (s_1, t_2) . Тем не менее, данное отклонение не безопасно из-за контругрозы игрока s отклониться из (s_1, t_2) в (s_2, t_2) . Поэтому если игрок t выберет в качестве «лидера» в сложном РБС стратегию осторожного поведения, он предпочтёт оставаться в профиле (s_1, t_3) с выигрышами $(4, 1)$.

7. Ослабления концепций равновесий для разрывных игр

Понятия РБС и сложного РБС имеют особое значение для разрывных игр, в которых целевые функции игроков разрывны, поскольку именно в таких играх может не существовать равновесий Нэша. В этих играх максимальное значение функции выигрыша при заданном окружении может не достигаться, поэтому применительно к ним следует рассматривать не только понятия равновесий, но и их ослабления в форме ε -аналогов этих равновесий. По сравнению со стандартными определениями в неравенствах появляется произвольно малая положительная величина $\varepsilon > 0$.

Определение 19. *ε -Безопасным отклонением игрока i от профиля x называется стратегия x'_i такая, что $u_i(x'_i, x_{-i}) \geq u_i(x) + \varepsilon$ и $u_i(x'_i, x'_j, x_{-ij}) \geq u_i(x) + \varepsilon$ для любой угрозы $\{(x'_i, x_{-i}), (x'_i, x'_j, x_{-ij})\}$ игрока j игроку i .*

Определение 20. *Профиль стратегий, содержащий угрозы не более чем на ε (т.е. такие угрозы, что $u_i(x'_j, x_{-j}) < u_i(x) - \varepsilon$), называется ε -равновесием в безопасных стратегиях, если ни один игрок не может увеличить свой выигрыш более чем на ε ε -безопасным отклонением.*

Определение 21. *Профиль стратегий называется ε -РСК, если ни один игрок не может увеличить свой выигрыш более чем на ε ε -безопасным отклонением.*

Определение 22. Профиль стратегий называется **сложным ε -РБС** ($\varepsilon > 0$), если существует разбиение множества игроков N на непустые и непересекающиеся подмножества N_1, \dots, N_m такие, что для каждого игрока из множества N_i существуют угрозы не более чем на ε , от игроков из множества $\bigcup_{1 \leq k \leq m} N_k$, и ни один игрок из множества N_i не может увеличить свой выигрыш более чем на ε ε -безопасным отклонением от угроз игроков множества $\bigcup_{1 \leq k \leq m} N_k$.

Для игр двух участников аналогичным образом можно предложить следующее обобщение точки Штакельберга.

Определение 22. Профиль x^* назовём **ε -точкой Штакельберга** ($\varepsilon > 0$), если

$$(8) \quad u_i(x^*) \begin{cases} = \sup_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x^*_{-i}), \text{ если супремум достигается,} \\ > \sup_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x^*_{-i}) - \varepsilon, \text{ иначе;} \end{cases}$$

$$(9) \quad u_{-i}(x^*) \begin{cases} = \sup_{x'_{-i} \in X_{-i}} w(x'_{-i}), \text{ если супремум достигается,} \\ > \sup_{x'_{-i} \in X_{-i}} w(x'_{-i}) - \varepsilon, \text{ иначе;} \end{cases}$$

где $(i, -i) \in \{(1, 2), (2, 1)\}$ и функция w определена как

$$w(x_{-i}) = \begin{cases} \inf_{\substack{x_i: u_i(x_i, x_{-i}) = \sup_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x_{-i})}} u_{-i}(x_i, x_{-i}), \text{ если} \\ \text{супремум достигается,} \\ \lim_{\delta \rightarrow 0} \left(\inf_{\substack{x_i: u_i(x_i, x_{-i}) > \sup_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x_{-i}) - \delta}} u_{-i}(x_i, x_{-i}) \right), \text{ иначе.} \end{cases}$$

Наиболее важным для настоящего рассмотрения свойством ε -точки Штакельберга является следующее.

Утверждение 7. Для любой игры двух участников с ограниченными целевыми функциями и любого $\varepsilon > 0$ существует ε -точка Штакельберга.

Доказательство. В случаях, когда супремумы достигаются, утверждение очевидно. Рассмотрим случай, когда они не достигаются. Если целевые функции в игре ограничены, то

функция $w(x_{-i})$ определена при всех x_{-i} . Выберем произвольное $\varepsilon > 0$. Для него $\exists x_{-i}^* : w(x_{-i}^*) > \sup_{x'_{-i}} w(x'_{-i}) - \varepsilon / 2$. Согласно определению функции $w(x_{-i}^*)$ также

$$\exists \delta < \varepsilon : \inf_{x'_i : u_i(x_i, x_{-i}^*) > \sup_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x_{-i}^*) - \delta} u_{-i}(x_i, x_{-i}^*) \geq w(x_{-i}^*) - \varepsilon / 2.$$

Это означает, что

$$\begin{aligned} \exists x_i^* : u_i(x_i^*, x_{-i}^*) > \sup_{x'_i \in X_i} u_i(x'_i, x_{-i}^*) - \delta \text{ и} \\ u_{-i}(x_i^*, x_{-i}^*) \geq w(x_{-i}^*) - \varepsilon / 2 > \sup_{x'_{-i}} w(x'_{-i}) - \varepsilon. \end{aligned}$$

Таким образом, ε -точка Штакельберга x^* найдена. \square

Теперь, используя существование ε -точки Штакельберга, можно обобщить полученный ранее результат для игр двух участников с разрывными целевыми функциями u_i . Пусть $BR_\varepsilon(x_i, \varepsilon)$ будет обозначать ε -наилучший ответ на стратегию x_i , т.е. множество $\{x_{-i} \mid u(x_i, x_{-i}) > \sup_{\tilde{x}_{-i}} u_{-i}(x_i, \tilde{x}_{-i}) - \varepsilon\}$.

Утверждение 8. Пусть в разрывной игре Γ двух участников для любых $x_i \in X_i, i \in \{1, 2\}$, существует предел $\lim_{\substack{\varepsilon \rightarrow +0 \\ x_{-i} \in BR_\varepsilon(x_i)}} u_i(x_i, x_{-i})$. Тогда в игре Γ существует сложное ε -РБС.

Доказательство. По существу аналогично доказательству для игр с непрерывными целевыми функциями и приводится в приложении А. \square

Приведём простой пример того, как сложные ε -РБС могут расширять концепцию решений в разрывной игре.

Пример 5. Рассмотрим стандартную модель дуополии Бертрана [5]. Две компании производят одинаковый товар, спрос ограничен и равен условной единице. Монопольная цена на рынке $p_M > 0$. Компания, назначившая наименьшую цену, получает весь спрос, а если компании назначают одинаковую цену, они делят спрос пополам. В задаче существует единственное равновесие Нэша и единственное РБС: $p_1 = p_2 = 0$. Тем не менее, сложными ε -РБС являются также все точки $(p, p - \varepsilon), (p - \varepsilon, p)$ для всех $p \in [0, p_M]$.

8. Заключение

В статье представлены два расширения концепции равновесий в безопасных стратегиях [8]. В качестве первого расширения мы рассмотрели ситуацию, в которой ни один игрок не может увеличить свой выигрыш односторонним отклонением, не создавая при этом угрозы потерять больше, чем он выигрывает. Такой профиль мы назвали *равновесием сдерживаемым контр-угрозами (РСК)*, поскольку в нём любое выгодное отклонение игрока сдерживается «контругрозами». На практике, однако, мы обнаружили, что условие РСК оказывается слишком слабым и во многих играх таких равновесий оказывается слишком много. Тем не менее, можно предположить, что найденное условие должно соблюдаться для любого профиля, претендующего на роль равновесия. Оно выражает тот принцип, что в любом равновесном состоянии игры не должно быть безнаказанных выгодных отклонений. Таким образом, нахождение множества РСК имеет важное практическое значение, поскольку любые множества равновесий в расширенном смысле нужно искать в этом множестве. В работе предложен конструктивный метод выделения множества РСК с помощью *функции выигрыша с учётом угроз* и построения для игроков соответствующих множеств Y_i .

В качестве второго расширения концепции РБС была рассмотрена концепция *сложных РБС*, которая учитывает возможность неодинакового отношения игроков к безопасности в некооперативных играх. Множество сложных РБС строго включает в себя множество РБС, но строго включается в множество РСК. Каждому сложному РБС соответствует разбиение игроков на классы безопасности, которое можно назвать *структурой* сложного РБС. Идея такого расширения была впервые предложена в [2, 6]. В данной работе предлагается новая формулировка этой концепции. В общем случае одному и тому же сложному РБС могут соответствовать несколько разбиений игроков. Могут также существовать множественные сложные РБС с разными разбиениями игроков. Более того, число воз-

возможных разбиений игроков растёт очень быстро с их числом. Все эти неудобства, однако, могут в значительной степени исчезать при рассмотрении отдельных классов игр. Например, в анонимных играх число возможных разбиений игроков существенно уменьшается. В других играх структура взаимных угроз может определяться правилами самой игры, например, размером ресурсов, доступных игроку, разным положением игроков на рынке или неравными правилами игры. В то же время важно отметить, что определение не налагает каких-либо ограничений на выбор разбиения игроков. Равновесная ситуация может возникать спонтанно в ходе самой игры в результате рационального выбора ролей самими игроками. В этом проявляется важное преимущество предлагаемого формализма: он выявляет возможность иерархической структуры взаимных угроз, которую нельзя выявить с помощью других подходов. Мы предполагаем, что предложенная теоретическая концепция будет полезна прежде всего для анализа задач, в которых возможно асимметричное поведение игроков, а такими являются почти все практические задачи.

В статье приведено несколько простых примеров, иллюстрирующих вводимые понятия. Особенно простую интерпретацию имеют сложные РБС в играх с двумя участниками. В этом случае один игрок выбирает безопасные стратегии и улучшает своё положение только безопасными отклонениями (т.е. ведёт себя так, как игроки ведут себя в РБС). Другой игрок выбирает наилучший ответ (т.е. ведёт себя так, как игроки ведут себя в равновесии Нэша). В таком случае сложные РБС оказываются тесно связанными с концепцией точек Штакельберга [4, 12]. В частности, точки Штакельберга в матричных или непрерывных играх с непрерывными целевыми функциями оказываются слабыми сложными РБС. Таким образом, в этих играх всегда существуют два слабых сложных РБС (которые могут также совпасть). В общем случае игр двух участников множество слабых РБС оказывается шире, чем множество точек Штакельберга. Для разрывных игр двух игроков нами доказана теорема существования ε -РБС.

Благодарности

Мы особенно признательны К. Д'Апремону, который помог нам найти новую формулировку концепции РБС. Выражаем признательность Ф.Т. Алескерову и Д.А. Новикову за постоянное внимание к нашей работе и за регулярные обсуждения концепции РБС на семинарах в Высшей школе экономики и Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова в Москве. Благодарим М. Губко, Н. Коргина, В. Корепанова, М. Сандомирскую и Д. Федянина за полезные замечания и плодотворную дискуссию. Благодарим рецензента за ценные замечания. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №14-01-00131-а.

9. ПРИЛОЖЕНИЕ А

Утверждение 8. Пусть $BR_\varepsilon(x_i, \varepsilon)$ будет обозначать ε -наилучший ответ на стратегию x_i , т.е. множество $\{x_{-i} \mid u(x_i, x_{-i}) > \sup_{\tilde{x}_{-i}} u_{-i}(x_i, \tilde{x}_{-i}) - \varepsilon\}$. Пусть в разрывной игре

$\Gamma = \{(X_1, X_2), (u_1, u_2)\}$ двух участников для любых $x_i \in X_i, i \in \{1, 2\}$ существует предел $\lim_{\substack{\varepsilon \rightarrow +0 \\ x_{-i} \in BR_\varepsilon(x_i)}} u_i(x_i, x_{-i})$. Тогда в

игре Γ существует сложное ε -РБС.

Доказательство. Из предположения, что для любого $x_i \in X_i, i \in \{1, 2\}$, существует $\lim_{\substack{\varepsilon \rightarrow +0 \\ x_{-i} \in BR_\varepsilon(x_i)}} u_i(x_i, x_{-i})$, также следует,

что для любого $x_i \in X_i, i \in \{1, 2\}$ существует

$\hat{u}_i(x_i) \equiv \lim_{\varepsilon \rightarrow +0} \sup_{x_{-i} \in BR_\varepsilon(x_i)} u_i(x_i, x_{-i})$. Для произвольно малого $\varepsilon > 0$

выберем x_i^* такое, что $\hat{u}_i(x_i^*) > \sup_{x_i \in X_i} \hat{u}_i(x_i) - \varepsilon/5$. В соответствии с

исходным предположением, $\forall \varepsilon > 0 \exists \delta > 0, \delta < \varepsilon$ такое, что

$|\sup_{x_{-i} \in BR_\delta(x_i^*)} u_i(x_i^*, x_{-i}) - \hat{u}_i(x_i^*)| < \epsilon/5$. Выберем $x_{-i}^* \in BR_\delta(x_i^*)$ такое,

что $|u_i(x_i^*, x_{-i}^*) - \sup_{x_{-i} \in BR_\delta(x_i^*)} u_i(x_i^*, x_{-i})| < \epsilon/5$. Так, для произвольно

малого положительного ϵ существует точка (x_i^*, x_{-i}^*) такая, что $u_i(x_i^*, x_{-i}^*) > \hat{u}_i(x_i^*) - 2\epsilon/5 > \sup_{x_i \in X_i} \hat{u}_i(x_i) - 3\epsilon/5$

и $u_{-i}(x_i^*, x_{-i}^*) > \sup_{\tilde{x}_{-i}} u_{-i}(x_i^*, \tilde{x}_{-i}) - \delta > \sup_{\tilde{x}_{-i}} u_{-i}(x_i^*, \tilde{x}_{-i}) - \epsilon$.

Эта точка является ϵ -точкой Штакельберга с игроком лидером i и игроком последователем $-i$.

Докажем, что она является сложным ϵ -РБС. Для определённости рассмотрим случай $i = 1, -i = 2$. Прежде всего заметим, что $u_2(x_1^*, x_2^*) > \sup_{x_2} u_2(x_1^*, x_2) - \epsilon$, т.е. игрок 2 не имеет никаких

отклонений, увеличивающих его выигрыш более чем на ϵ , и потому определение сложного ϵ -РБС с разбиением игроков $N = \{1\} \cup \{2\}$ выполняется для игрока 2.

Любое выгодное отклонение игрока 2 будет находиться в множестве $BR_\delta(x_1^*)$. Поскольку мы предполагаем, что существует $\lim_{\substack{\delta \rightarrow +0 \\ x_2 \in BR_\delta(x_1)}} u_1(x_1, x_2)$, то, выбирая в нашем предыдущем рассмот-

рении δ достаточно малым, мы можем гарантировать, что целевая функция игрока 1 не уменьшается более чем на ϵ . Поэтому для игрока 1 в профиле (x_1^*, x_2^*) существуют угрозы не более чем на ϵ .

Теперь предположим, что игрок 1 может увеличить свой выигрыш отклонением x_1' . Если

$$u_1(x_1', x_2^*) \leq \hat{u}_1(x_1') + 2\epsilon/5 \leq \sup_{x_1 \in X_1} \hat{u}_1(x_1) + 2\epsilon/5 < u_1(x_1^*, x_2^*) + \epsilon,$$

то отклонение игрока 1 x_1' не увеличивает его выигрыш более чем на ϵ . Если $u_1(x_1', x_2^*) > \hat{u}_1(x_1') + 2\epsilon/5$, то в соответствии с предположением для выбранного $\epsilon > 0 \exists \delta' > 0, \delta' < \epsilon$ такое, что для $\forall x_2' \in BR_{\delta'}(x_1')$ выполняется $u_1(x_1', x_2') < \hat{u}_1(x_1') + 2\epsilon/5$. Таким образом, $x_2^* \notin BR_{\delta'}(x_1')$ и отклонение игрока 2 из x_2^* в

$\forall x'_2 \in BR_{S'}(x'_1)$ выгодно для него. В то же время выигрыш игрока 1 строго уменьшается, и после контр-ответа игрока 2 он становится

$$u_1(x'_1, x'_2) < \hat{u}_1(x'_1) + 2\epsilon/5 \leq \sup_{x_1 \in X_1} \hat{u}_1(x_1) + 2\epsilon/5 < u_1(x_1^*, x_2^*) + \epsilon,$$

т.е. он не превосходит его выигрыша в (x_1^*, x_2^*) более чем на ϵ . Иными словами, отклонение игрока 1 в x'_1 не является ϵ -безопасным отклонением. Следовательно, определение сложного ϵ -РБС с разбиением игроков $N = \{1\} \cup \{2\}$ также выполняется для игрока 1. \square

Литература

1. АЛЕСКЕРОВ Ф.Т. *Теоретико-игровое моделирование: попытка краткого обсуждения и прогноза развития* // Журнал Новой экономической ассоциации. – 2013. – №17(1). – С. 181–184.
2. ИСКАКОВ М.Б. *Равновесие в безопасных стратегиях* // Автоматика и телемеханика. – 2003. – №3. – С. 139–153.
3. НОВИКОВ Д.А. *Стимулирование в организационных системах*. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 312 с.
4. D'ASPREMONT, GÉRARD-VARET L.A. *Stackelberg-solvable games and pre-play communication* // Journal of Economic Theory. – 1980. – Vol. 23(2). – P. 201–217.
5. BERTRAND J. *Book review of theorie mathematique de la richesse sociale and of recherches sur les principes mathematiques de la theorie des richesses* // Journal de Savants. – 1883. – Vol. 67. – P. 499–508.
6. ISKAKOV M.B. *Equilibrium in Safety Strategies and equilibriums in objections and counter objections in noncooperative games* // Automation and Remote Control. – 2008. – Vol. 69(2). – P. 278–298.
7. ISKAKOV M., ISKAKOV A. *Solution of the Hotelling's game in secure strategies* // Economics Letters. – 2012. – Vol. 117. – P. 115–118.

8. ISKAKOV M., ISKAKOV A. *Equilibrium in secure strategies* // CORE Discussion Paper 2012/61. Université catholique de Louvain, Center for Operations Research and Econometrics (CORE). – 2012. – 38 p.
9. ISKAKOV M., ISKAKOV A. *Equilibrium in secure strategies – intuitive formulation* // HSE Working Paper WP7/2012/06. – Moscow: Higher School of Economics, 2012. – 52 p.
10. ISKAKOV M., ISKAKOV A., and ZAKHAROV A. *Equilibria in secure strategies in the Tullock contest* // CORE Discussion Paper 2014/10. Université catholique de Louvain, Center for Operations Research and Econometrics (CORE). – 2014. – 26 p.
11. SANDOMIRSKAYA M. *Weakening of the Nash equilibrium concept: the existence and applications to the Hotelling model* [abstract of presentation]. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://ces.hse.ru/announcements/122400243.html> (дата обращения: 07.09.2014).
12. STACKELBERG H. *Marktform und Gleichgewicht*. – Springer: Wien und Berlin, 1934. – 134 p.

EQUILIBIUM CONTAINED BY COUNTER-THREATS AND COMPLEX EQUILIBRIUM IN SECURE STRATEGIES

Mikhail Iskakov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (mih_iskakov@mail.ru).

Alexey Iskakov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (isk_alex@mail.ru, iskakov@ipu.ru).

Abstract: We present two generalizations of the concept of equilibrium in secure strategies. In equilibrium contained by counter-threats (ECCT) no player can increase his or her payoff by a unilateral deviation without creating a threat to lose more than he or she wins. We assume that this condition must be satisfied for any pseudo-equilibrium in the generalized sense, and, therefore, any such equilibrium must belong to the set of ECCT. The second generalization is the complex equilibrium in secure strategies. The proposed concept allows us identifying a hierarchical structure of mutual threats between players and will be useful for the analysis of problems with asymmetric behavior of the players. Search algorithms for proposed equilibria and their examples in the matrix games are provided.

Keywords: equilibrium in secure strategies, non-cooperative games, asymmetric behavior.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии В.В. Мазаловым

Поступила в редакцию 21.08.2014.

Опубликована 30.09.2014.

УДК 519.71
ББК 32.817

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАЕМНЫХ СРЕДСТВ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ

Усков А. А.¹, Киселев И. А.²

(Российский университет кооперации, Москва)

В статье предложены показатели эффективности инвестиционных проектов при использовании заемных средств (степень устойчивости, наименьший срок погашения кредита, чистый приведенный доход, внутренняя норма доходности), отличающиеся включением в расчетные формулы параметров кредита, что позволяет совместно оценивать выбор инвестиционного проекта и условий получения кредита для его финансирования. Получены расчетные формулы, позволяющие определять указанные показатели эффективности в условиях неопределенности на основе арифметики нечетких чисел LR-типа. Результаты статьи могут быть полезны в практике инвестиционного анализа.

Ключевые слова: инвестиционный проект, неопределенность, нечеткое число, чистый приведенный доход.

1. Введение

Реализация инвестиционных проектов (ИП) зачастую требует привлечение заемного капитала. В этой связи задача эффективного использования заемных средств представляется весьма актуальной [4, 6].

¹ Андрей Александрович Усков, доктор технических наук, профессор (andrey@uskov.net, www.uskov.net).

² Игорь Александрович Киселев, аспирант.

Под задачей управления заемными средствами в настоящей работе понимается совокупность взаимосвязанных задач: оптимального выбора инвестиционного проекта, его параметров и выбора условий кредита для его финансирования из множества допустимых. Отметим, что оптимальное решение указанных задач может быть найдено только для них совместно, так как важны не только показатели эффективности инвестиционного проекта, но и стоимость кредита для его реализации, например, высокоэффективный инвестиционный проект совместно с дорогим кредитом может оказаться менее эффективным по сравнению с низкоэффективным инвестиционным проектом, под который имеется дешевый кредит.

Инвестиционная деятельность всегда ведется в условиях неопределенности: точно неизвестны будущие денежные поступления от реализации инвестиционного проекта, индекс инфляции и некоторые другие показатели. Широко распространенным методом расчетов в условиях неопределенности является анализ чувствительности (sensitivity analysis), заключающийся в оценке влияния изменения исходных параметров проекта на его конечные характеристики [4, 6]. Анализ чувствительности позволяет найти интервалы для показателей эффективности инвестиционного проекта в зависимости от интервального задания его параметров. В тоже время интервальное задание параметров часто является достаточно «грубым» и не позволяет учесть всю имеющуюся информацию о ИП.

В настоящей работе неопределенность учитывается путем введения в расчетные формулы нечетких переменных в виде нечетких чисел LR -типа, параметры которых должны быть оценены предварительно, например, экспертным методом. Использование нечетких чисел LR -типа позволяет существенно упростить расчетные формулы.

Нечеткие числа LR -типа – это разновидность нечетких чисел специального вида, задаваемых по определенным правилам [1, 5]. Функции принадлежности нечетких чисел LR -типа задаются с помощью невозрастающих четных неотрицательных действительных функций действительного аргумента $L(\varepsilon)$ и $R(\varepsilon)$, удовлетворяющих свойствам:

$$1) L(\varepsilon) \geq 0, R(\varepsilon) \geq 0;$$

- 2) $L(-\varepsilon) = L(\varepsilon)$, $R(-\varepsilon) = R(\varepsilon)$;
- 3) невозрастание на интервале $(0, +\infty)$;
- 4) $L(0) = R(0) \leq 1$.

Пусть $L(\varepsilon)$ и $R(\varepsilon)$ – функции LR-типа. Функция принадлежности унимодального нечеткого числа A с модой a с помощью $L(\varepsilon)$ и $R(\varepsilon)$ задается следующим образом:

$$(1) \quad \mu_A(x) = \begin{cases} L\left(\frac{a-x}{\alpha}\right) & \text{при } x \leq a, \\ R\left(\frac{x-a}{\beta}\right) & \text{при } x > a, \end{cases}$$

где a – мода; $\alpha > 0$, $\beta > 0$ – левый и правый коэффициенты нечеткости.

Таким образом, при заданных $L(\varepsilon)$ и $R(\varepsilon)$ нечеткое число LR-типа определяется тройкой (a, α, β) .

Пример функций $L(\varepsilon)$ и $R(\varepsilon)$:

$$L(\varepsilon) = R(\varepsilon) = e^{-|\varepsilon|^p}, \quad L(\varepsilon) = R(\varepsilon) = \frac{1}{1 + |\varepsilon|^p},$$

где p – положительная константа.

В статье предложены формулы для расчета показателей эффективности использования заемных средств, отличающиеся включением нечетких переменных и параметров кредита, что позволяет совместно оценивать инвестиционный проект и получение кредита для его финансирования в условиях неопределенности нечеткого характера.

Приведенная в п. 5 формула определения чистого приведенного дохода ранее опубликована в работе авторов [12].

2. Постановка задачи

Предположим, что инвестиционный проект требует однократного первоначального вложения капитала в сумме K . Данная сумма получена в кредит под $R\%$ годовых на $M_{кр}$ месяцев. Предполагается, что платежи равные (аннуитетные) и разрешено досрочное погашение кредита. Сумма платежа по кредиту в m -м месяце Y_m определяется формулой [14]

$$(2) \left\{ \begin{array}{l} Y_m = Y = K \frac{(R\% / 100) / 12}{1 - (1 + (R\% / 100) / 12)^{-M_{KP}}} \text{ при } m \leq M_{KP}, \\ Y_m = 0 \text{ при } m > M_{KP}, \\ S = Y \cdot M_{KP}. \end{array} \right. ,$$

где S – общая сумма долга, подлежащая погашению.

Заметим, что формула (2) является приближенной, так как в ней используется приближенный пересчет годовой процентной ставки в месячную ($R\% / 12$), в тоже время, ввиду своей выгоды для кредиторов, именно эта формула наиболее часто используется на практике [14].

Текущие денежные поступления в m -месяце от инвестиционного проекта заданы нечеткими числами LR -типа:

$$\tilde{P}_m = (p_m, \alpha_m^P, \beta_m^P).$$

Задан также индекс инфляции в m -м месяцев виде нечеткого числа LR -типа $\tilde{I}_m = (i_m, \alpha_m^I, \beta_m^I)$.

Определены функции $L(\varepsilon)$ и $R(\varepsilon)$.

Длительность поступления средств от инвестиционного проекта N , т.е. $P_m = 0$ при $m > N$.

Кроме того, задан допустимый уровень возможности α_0 – постоянная величина, показывающая, какова допустимая возможность (максимальное значение функции принадлежности нечеткой переменной) того, что расчетные показатели выйдут за заданные пределы [2, 7, 8, 10].

Параметр α_0 выбирается из условия $\alpha_0 \ll 1$ (например, $\alpha_0 = 0,01$; $\alpha_0 = 0,05$) и в какой-то степени аналогичен вероятности выполнения альтернативной гипотезы в математической статистике.

Выразим на основе формулы (1), определяющей вид функций принадлежности, минимальные и максимальные поступления от инвестиционного проекта, а также минимальное и максимальное значение индекса инфляции в m -м месяце при заданном уровне возможности α_0 :

$$(3) \left\{ \begin{array}{l} L\left(\frac{P_m - P_m^{\min}}{\alpha_m^P}\right) = \alpha_0, \\ P_m^{\min} = P_m - \alpha_m^P L^{-1}(\alpha_0); \\ R\left(\frac{P_m + P_m^{\max}}{\beta_m^P}\right) = \alpha_0, \\ P_m^{\max} = P_m + \alpha_m^P L^{-1}(\alpha_0); \end{array} \right.$$

$$(4) \left\{ \begin{array}{l} L\left(\frac{i_m - i_m^{\min}}{\alpha_m^i}\right) = \alpha_0, \\ i_m^{\min} = i_m - \alpha_m^i L^{-1}(\alpha_0); \\ R\left(\frac{i_m + i_m^{\max}}{\beta_m^i}\right) = \alpha_0, \\ i_m^{\max} = i_m + \beta_m^i R^{-1}(\alpha_0). \end{array} \right.$$

Требуется определить показатели эффективности инвестиционного проекта нечетких условиях, такие как: степень устойчивости, наименьший срок погашения кредита, чистый приведенный доход и внутреннюю норму доходности.

3. Определение степени устойчивости инвестиционного проекта

Рассмотрим вначале случай, когда поступления от инвестиционного проекта в m -м месяце точно известны и определяются четкими числами P_m .

Степень устойчивости инвестиционного проекта показывает финансовую реализуемость инвестиционного проекта, а именно, на сколько процентов поступления от инвестиционного проекта P_m будут больше, чем требуемые платежи по кредиту Y_m для наихудшего случая [4, 6]:

$$(6) \quad \xi = \min_{m=1,2,\dots,M_{кр}} \frac{P_m - Y_m}{Y_m} \cdot 100\% .$$

Если в каком-то месяце денежные поступления от инвестиционного проекта P_m будут меньше, чем требуемые платежи по

кредиту P_m , то степень устойчивости станет отрицательной и соответственно проект будет неустойчив.

В нечетких условиях в качестве P_m берутся минимальные поступления от инвестиционного проекта P_m^{\min} при заданном уровне возможности α_0 , определяемые согласно формуле (3):

$$(7) \quad \xi = \min_{m=1,2,\dots,M_{KP}} \frac{P_m^{\min} - Y_m}{Y_m} \cdot 100\%.$$

Формула (7) определяет достаточно жесткое условие устойчивости ИП, более мягкое условие можно определить, сравнивая суммарные поступления от инвестиционного проекта с суммарными платежами по кредиту:

$$(8) \quad \xi = \frac{\sum_{m=1}^{M_{KP}} P_m^{\min} - S}{S} \cdot 100\%.$$

4. Определение наименьшего срока погашения кредита

Как и ранее, рассмотрим вначале случай, когда поступления от инвестиционного проекта в m -м месяце точно известны и определяются четкими числами P_m .

Предположим, что все поступления от инвестиционного проекта идут на погашения кредита (сумма платежа по кредиту в m -м месяце не Y_m , а P_m). Время, за которое будет погашен кредит при таких платежах, будем называть наименьшим сроком погашения кредита. При расчете наименьшего срока погашения кредита используется процедура досрочного погашения кредита. Различные кредитные организации используют различные формулы для расчета при досрочном погашении кредита. Рассмотрим для примера достаточно выгодный для кредитора случай, когда досрочное погашение приводит к сокращению срока аннуитетных платежей, но не приводит к уменьшению первоначально оговоренной суммы выплат по кредиту S (см. формулу (1)) [14].

Наименьший срок погашения кредита в принятой постановке – это минимальное время, измеряемое в целых месяцах, за

которое сумма поступлений от инвестиционного проекта превысит первоначально оговоренной суммы выплат по кредиту S :

$$(9) \quad T_{ПК} = \min_{k \in Z} \left[\sum_{m=1}^k P_m \geq S \right].$$

В нечетких условиях в качестве P_m берутся минимальные поступления от инвестиционного проекта P_m^{\min} при заданном уровне возможности α_0 , определяемые согласно формуле (3):

$$(10) \quad T_{ПК} = \min_{k \in Z} \left[\sum_{m=1}^k P_m^{\min} \geq S \right].$$

5. Определение чистого приведенного дохода (ЧПД)

Результаты, изложенные в настоящем разделе, ранее опубликованы в работе авторов [12], здесь приводятся для связности и ясности изложения.

Рассмотрим вначале случай, когда поступления от инвестиционного проекта и индекс инфляции в m -м месяце точно известны и определяются четкими числами P_m и I_m .

Формула для расчета чистого приведенного дохода имеет вид [14]:

$$(11) \quad NPV = \sum_{m=1}^N (P_m - Y_m) \cdot \frac{1}{(1 + I_m)^m},$$

где $E_m = 1/(1 + I_m)^m$ – коэффициент дисконтирования с учетом инфляции в m -м месяце.

Коэффициент дисконтирования выбирается таким образом, чтобы привести стоимость к ценам на момент получения кредита, т.е. чистый приведенный доход показывает чистые поступления от инвестиционного проекта в ценах на момент получения кредита под ИП.

Перейдем теперь к рассмотрению случая, когда текущие денежные поступления от инвестиционного проекта и индекс инфляции в m -месяце заданы нечеткими числами LR -типа:

$$\tilde{P}_m = (p_m, \alpha_m^P, \beta_m^P) \text{ и } \tilde{I}_m = (i_m, \alpha_m^I, \beta_m^I) \text{ соответственно.}$$

Формула для определения ЧПД в данном случае имеет вид

$$(12) \quad N\tilde{P}V = \sum_{m=1}^{N_p} (\tilde{P}_m - Y_m) \cdot \frac{1}{(1 + \tilde{I}_m)^m}.$$

Определим вначале значение коэффициента дисконтирования

$$(13) \quad \tilde{E}_m = \frac{1}{(1 + \tilde{I}_m)^m},$$

для этого докажем утверждение о возведении нечеткого числа в целую положительную степень.

Утверждение 1. Пусть $\tilde{a} = (m, \alpha, \beta)$ – нечеткое число LR -типа, тогда при $m > 0$ целая положительная степень n нечеткого числа \tilde{a} определяется формулой

$$(14) \quad \tilde{a}^n = (m^n, n \cdot m^{n-1} \cdot \alpha, n \cdot m^{n-1} \cdot \beta).$$

Доказательство.

Согласно формуле умножения нечетких чисел LR -типа для нечетких чисел $\tilde{a} = (m, \alpha, \beta)_{LR}$ и $\tilde{b} = (n, \gamma, \delta)_{LR}$ при $m > 0, n > 0$ можно записать [1, 5]:

$$(15) \quad (m, \alpha, \beta)_{LR} \cdot (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, \alpha n + \gamma m, \beta n + \delta m)_{LR}.$$

Используя формулу (15), получим:

$$(16) \quad \tilde{a}^1 = (m, \alpha, \beta)_{LR},$$

$$\tilde{a}^2 = (m, \alpha, \beta)_{LR}^2 = (m^2, (m\alpha + m\alpha), (m\beta + m\beta)) = (m^2, 2m\alpha, 2m\beta),$$

$$\tilde{a}^3 = (m, \alpha, \beta)_{LR}^3 = (m^3, (m\alpha + m\alpha) \cdot m + \alpha m^2, (m\beta + m\beta) \cdot m + \beta m^2) = (m^3, 3\alpha m^2, 3\beta m^2),$$

$$\tilde{a}^4 = (m, \alpha, \beta)^4 = (m^4, m3m^2\alpha + m^3\alpha, m3m^2\beta + m^3\beta) = (m^4, 4m^3\alpha, 4m^3\beta),$$

....

Предположив верность выражения (14), будем иметь:

$$(17) \quad \tilde{a}^{n+1} = (m^{n+1}, (n+1) \cdot m^n \cdot \alpha, (n+1) \cdot m^n \cdot \beta).$$

С другой стороны, $\tilde{a}^{n+1} = \tilde{a}^n \cdot \tilde{a}$, используя формулы (14) и (15), также приходим к выражению (17).

Таким образом, если верна формула (14), то верна и формула (17). Последнее утверждение совместно с формулой (16) на

основе математической индукции [3] доказывает правильность формулы (14). ■

Согласно формуле нахождения обратного для нечеткого числа LR-типа $\tilde{a} = (m, \alpha, \beta)$ [1, 5]:

$$(18) \tilde{a}^{-1} = \left(\frac{1}{m}, \frac{\beta}{m^2}, \frac{\alpha}{m^2} \right).$$

Воспользовавшись формулой для определения степени нечеткого числа (14) и обратного для нечеткого числа (18), получим:

$$(19) \tilde{E}_m = (e_m, \alpha_m^e, \beta_m^e) = \left(\frac{1}{(1+i_m)^m}, \frac{m \cdot \beta_m^i}{(1+i_m)^{m+1}}, \frac{m \cdot \alpha_m^i}{(1+i_m)^{m+1}} \right).$$

Теперь перейдем к определению $N\tilde{P}V = (npv, \alpha^{npv}, \beta^{npv})$.

Воспользовавшись формулой умножения нечетких чисел (15), получим:

$$(20) \begin{aligned} N\tilde{P}V &= \sum_{m=1}^{N_p} (p_m - Y_m, \alpha_m^P, \beta_m^P) \cdot (e_m, \alpha^e, \beta^e) = \\ &= \left(\sum_{m=1}^{N_p} (p_m - Y_m) \cdot e_m, \right. \\ &\quad \left. \sum_{m=1}^{N_p} [(p_m - Y_m) \cdot \alpha_m^e + e_m \cdot \alpha_m^P], \right. \\ &\quad \left. \sum_{m=1}^{N_p} [(p_m - Y_m) \cdot \beta_m^e + e_m \cdot \beta_m^P] \right). \end{aligned}$$

Подставляя формулу (17) в формулу (18), окончательно получим:

$$(21) N\tilde{P}V = (npv, \alpha^{npv}, \beta^{npv}),$$

$$\text{где } npv = \sum_{m=1}^N (p_m - Y_m) \cdot \frac{1}{(1+i_m)^m},$$

$$\alpha^{npv} = \sum_{m=1}^N \left[(p_m - Y_m) \frac{m\beta_m^i}{(1+i_m)^{m+1}} + \frac{1}{(1+i_m)^m} \cdot \alpha_m^P \right],$$

$$\beta^{npv} = \sum_{m=1}^N \left[(p_m - Y_m) \frac{m\alpha_m^i}{(1+i_m)^{m+1}} + \frac{1}{(1+i_m)^m} \cdot \beta_m^P \right].$$

Определим интервал нахождения чистого приведенного дохода $[NPV_{\min}, NPV_{\max}]$ при заданном уровне возможности α_0 :

$$L \left(\frac{npv - NPV^{\min}}{\alpha^{NPV}} \right) = \alpha_0,$$

$$(22) \quad NPV^{\min} = npv - \alpha^{npv} L^{-1}(\alpha_0);$$

$$R \left(\frac{npv - NPV^{\max}}{\alpha^{NPV}} \right) = \alpha_0.$$

$$(23) \quad NPV^{\max} = npv + \alpha^{npv} R^{-1}(\alpha_0).$$

6. Определение внутренней нормы доходности (ВНД)

Как и ранее, рассмотрим вначале случай, когда поступления от инвестиционного проекта и индекс инфляции в m -м месяце точно известны и определяются четкими числами P_m и I_{\min} .

Внутренняя норма доходности показывает, при какой процентной ставке по кредиту $R\%$ ЧПД от инвестиционного проекта будет равен 0. Для определения ВНД в формулу чистого приведенного дохода (11) нужно подставить значение Y , зависящее от процентной ставки по кредиту (1), и затем приравнять к 0, после чего данная система уравнений решается относительно ставки по кредиту $R\%$, решение и дает искомую ВНД (IRR):

$$(24) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{m=1}^N (P_m - Y_m) \cdot \frac{1}{(1+I_m)^m} = 0, \\ Y_m = Y = K \frac{(R\% / 100) / 12}{1 - (1 + (R\% / 100) / 12)^{-M_{KP}}} \text{ при } m \leq M_{KP}, \\ Y_m = 0 \text{ при } m > M_{KP}. \\ \Rightarrow IRR = R\%. \end{array} \right. ,$$

Перейдем теперь к рассмотрению случая, когда текущие денежные поступления от инвестиционного проекта и индекс инфляции в m -месяце заданы нечеткими числами LR -типа:

$$\tilde{P}_m = (p_m, \alpha_m^P, \beta_m^P) \text{ и } \tilde{I}_m = (i_m, \alpha_m^I, \beta_m^I)$$

соответственно.

Определим НПВ для наихудшего случая, здесь внутренняя норма доходности показывает, при какой процентной ставке по кредиту $R\%$ минимальный ЧПД NPV^{\min} (см. формулу (22)) от инвестиционного проекта будет равен 0.

Для определения ВНД необходимо решить систему уравнений:

$$(25) \left\{ \begin{array}{l} NPV_{\min} = npv - \alpha^{npv} L^{-1}(\alpha_0) = 0, \\ npv = \sum_{m=1}^N (p_m - Y_m) \cdot \frac{1}{(1 + i_m)^m}, \\ \alpha^{npv} = \sum_{m=1}^N \left[(p_m - Y_m) \frac{m \beta_m^i}{(1 + i_m)^{m+1}} + \frac{1}{(1 + i_m)^m} \cdot \alpha_m^P \right], \\ \left\{ \begin{array}{l} Y_m = Y = K \frac{(R\% / 100) / 12}{1 - (1 + (R\% / 100) / 12)^{-M_{KP}}} \text{ при } m \leq M_{KP}, \\ Y_m = 0, \text{ при } m > M_{KP}, \\ \Rightarrow IRR = R\%. \end{array} \right. \end{array} \right.$$

7. Численный пример

Для иллюстрации практической реализации определения показателей эффективности инвестиционных проектов при использовании заемных средств рассмотрим численный пример, выполненный в системе компьютерной математики Mathcad.

Допустим, для реализации некоего инвестиционного проекта требуется однократное денежное вложение в размере $K = 10\,000\,000$ руб. Указанная сумма взята в кредит на $M = 24$ месяца под $R = 17\%$ годовых. Планируется, что инвестиционный проект будет приносить поступления в течение $N = 36$ месяцев.

Ежемесячный индекс инфляции не зависит от номера месяца m и определяется нечетким числом LR -типа

$$\tilde{I}_m = (i_m, \alpha_m^I, \beta_m^I) = (0,01; 0,001; 0,001).$$

Поступления от реализации инвестиционного проекта по месяцам сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Поступления денежных средств от инвестиционного проекта

m	P_m	α_m^P	β_m^P
$1 \leq m \leq 6$	600 000	50 000	50 000
$7 \leq m \leq 10$	700 000	100 000	100 000
$11 \leq m \leq 22$	800 000	100 000	100 000
$23 \leq m \leq 26$	700 000	100 000	100 000
$27 \leq m \leq 30$	600 000	100 000	100 000
$m = 31$	500 000	100 000	100 000
$m = 32$	400 000	50 000	50 000
$m = 33$	300 000	50 000	50 000
$m = 34$	200 000	20 000	20 000
$m = 35$	100 000	20 000	20 000
$m = 36$	50 000	10 000	10 000
$m > 36$	0	0	0

Функции $L(x)$ и $R(x)$ гауссовы:

$$L(x) = R(x) = e^{-x^2}.$$

Задан уровень возможности $\alpha_0 = 0,01$.

Вычислим аннуитетный платеж, подлежащий ежемесячному погашению, определяемый по формуле (2): $Y_m = Y = 494\,422,64$ руб. Общая сумма долга, которую необходимо выплатить согласно формуле (2), равна $S = 11\,866\,143,38$ руб.

Поток платежей в счет погашения кредита:

$$\begin{cases} Y_m = 494\,422,64 \text{ при } m \leq 24; \\ Y_m = 0 \text{ при } m > 24. \end{cases}$$

Определим минимальные и максимальные поступления от инвестиционного проекта при заданном уровне возможности α_0 решая уравнения (3) и (4), результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Минимальные и максимальные поступления от инвестиционного проекта.

m	P_m	p_m^{\min}	p_m^{\max}
$1 \leq m \leq 6$	600 000	513 459	686 541
$7 \leq m \leq 10$	700 000	526918	873082
$11 \leq m \leq 22$	800 000	626918	973082
$23 \leq m \leq 26$	700 000	526918	873082
$27 \leq m \leq 30$	600 000	426 918	773082
$m = 31$	500 000	326 918	673082
$m = 32$	400 000	313 459	486541
$m = 33$	300 000	213459	386541
$m = 34$	200 000	165384	234616
$m = 35$	100 000	65384	134616
$m = 36$	50 000	32692	67308
$m > 36$	0	0	0

Степень устойчивости ИП, определенная согласно формуле (8), $\xi = 3,85\%$.

Наименьший срок погашения кредита, определенный согласно формуле (10): $T_{пк} = 21$ месяц.

Чистый приведенный доход, определенный согласно формуле (19): $N\tilde{P}V = (4910,9; 1998,4; 1998,4)$.

Минимальный и максимальный чистый приведенный доход при заданном уровне возможности α_0 , определенный согласно формулам (20):

$$NPV_{\min} = 1452,111,$$

$$NPV_{\max} = 8369,715.$$

На рис. 1 приведена зависимость минимального (при заданном уровне возможности $\alpha_0 = 0,01$) чистого приведенного дохода от ставки по кредиту $R\%$.



Рис. 1. Зависимость чистого приведенного дохода от ставки по кредиту $R\%$

Решение системы (22) дает ВНД $IRR = 31,3$, что совпадает с графическим решением, приведенным на рис. 1.

8. Заключение

Предложены показатели эффективности инвестиционных проектов при использовании заемных средств (степень устойчивости, наименьший срок погашения кредита, чистый приведенный доход, внутренняя норма доходности), отличающиеся включением в расчетные формулы параметров кредита, что позволяет совместно оценивать выбор инвестиционного проекта и условий получения кредита для его финансирования.

Получены расчетные формулы, позволяющие определять указанные показатели в условиях неопределенности на основе арифметики нечетких чисел LR-типа.

Для определения рассмотренных показателей эффективности инвестиционных проектов можно использовать также комплексный или матричный методы выполнения операций над комплексными числами, что позволит упростить вычисления при использовании систем компьютерной математики [11].

На основе приведенных результатов был разработан программный пакет «Анализ эффективности инвестиционных проектов с привлечением заемных средств» [9].

Результаты статьи могут быть полезны в практике инвестиционного анализа.

Литература

1. АЛТУНИН А.Е., СЕМУХИН М.В. *Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях.* – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
2. ДЮБУА Д. ПРАД А. *Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике.*– М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
3. КУРАНТ Р., РОББИНС Г. *Что такое математика?*– М.: МЦНМО, 2001. – 568 с.
4. КУЧАРИНА Е.А. *Инвестиционный анализ.*– СПб.: Питер, 2006. – 160 с.
5. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Пospelова.* – М.: Наука, 1986. – 312 с.
6. НЕПОМНЯЩИЙ Е.Г. *Инвестиционное проектирование.*– Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 262 с.
7. ПЫТЬБЕВ Ю.П. *Возможность. Элементы теории и применения.*– М.: Эдиториал Л. УРСС, 2000. – 192 с.
8. ПЫТЬБЕВ Ю.П. *Возможность как альтернатива вероятности. Математические и эмпирические основы, применения.* – М.: Физматлит, 2007. – 464 с.
9. УСКОВ А.А., БАЛАШОВ О.В., КИСЕЛЕВ И.А. *Анализ эффективности инвестиционных проектов с привлечением заемных средств // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ №20126144635 от 24.05.2012.*
10. УСКОВ А.А., КУЗЬМИН А.В. *Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика.* – М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. – 143 с.
11. УСКОВ А.А., КИСЕЛЕВ И.А. *Комплексный и матричный методы выполнения арифметических операций над нечёткими числами // Управление большими системами.* – 2012 – №40. – С. 96–107.
12. УСКОВ А.А., КИСЕЛЕВ И.А., КОНДРАТОВА Н.В. *Программный пакет анализа эффективности инвестиционных*

проектов на основе нечетких вычислений // Программные продукты и системы. – 2013. – №2. – С. 178–181.

13. УСКОВ А.А., КИЕЛЕВ И.А. Показатели эффективности привлечения заемных средств в инвестиционном проектировании // X международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами», Алушта, 10–16 сентября 2012 г. – С. 205–206.
14. ЧЕТЫРКИН Е.М. Финансовая математика. – М.: Дело, 2000. – 400 с.

EFFICIENCY EVALUATION OF INVESTMENT PROJECTS USING BORROW MONEY IN THE PRESENCE OF FUZZY UNCERTAINTY

Andrey Uskov, Russian University of Cooperation, Moscow, Doctor of Science, professor.

Igor Kiselev, Russian University of Cooperation, Moscow, Post-graduate student.

Abstract: We suggest several efficiency metrics for investment projects using borrowed money (stability degree, lowest loan repayment period, net present value, internal rate of return) with loan structure explicitly accounted for in formulas. They allow for considering a problem of joint selection of an investment project and a loan structure. We also derive the analytical expressions to calculate performance indicators under uncertainty using the arithmetic of LR-type fuzzy numbers. Possible applications include investment analysis.

Keywords: investment project, uncertainty, fuzzy number, net present value.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии М.В. Губко

*Поступила в редакцию 17.10.2013.
Опубликована 30.09.2014.*

УДК 004.896
ББК 32.813

МОДЕЛЬ КОМАНДНОГО ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ (РОБОТОВ): КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД¹

Кулинич А. А.²

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

Предложена математическая модель кооперации агентов в динамических ситуациях, основанная на критериях полезности агентов и когнитивного диссонанса их отношений. Модель основана на работах социальных психологов, исследовавших особенности поведения людей в малых социальных группах и объясняющих принципы их функционирования и устойчивости. На основе предложенной модели разработана имитационная модель игры агентов (роботов) в виртуальный футбол. Разработанная имитационная модель позволяет моделировать различные аспекты командного и эгоистичного поведения агентов.

Ключевые слова: кооперация агентов, критерии полезности, когнитивный диссонанс, когнитивная карта, правило поведения агента, командное поведение, эгоистичное поведение.

1. Введение

Исследование кооперации агентов (автономных роботов) возможно с использованием абстрактных математических моделей их взаимодействия в виде многоагентной системы. Многоагентная система состоит из множества интеллектуальных, общающихся между собой агентов (роботов), которые могут объединять свои ресурсы для решения сложных задач.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №14-01-00817).

² Александр Алексеевич Кулинич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (kulinich@ipu.ru).

В рамках теории многоагентных систем был предложен ряд теоретических концепций, определяемых как теории командной работы агентов. Это теория общих намерений [17] и теория общих планов [20]. Эти две теории командной работы ориентированы на BDI (Belief-Desire-Intention) [22] – архитектуру агентов, которая считается основной при реализации интеллектуальных агентов. В рамках BDI архитектуры агентов описываются «ментальные» состояния агентов в терминах их убеждений, желаний (целей) и намерений. Задача теорий командной работы заключается в том, чтобы построить модели и методы согласования убеждений, желаний множества агентов, а также намерений для реализации их совместной работы. Естественно такое согласование требует многочисленных коммуникаций между агентами.

Теория общих намерений основана на двух типах базовых понятий. Первый тип понятий – это ментальные понятия: события (отражают состояние внешнего мира); убеждения (отражают достоверные знания агента о внешнем мире); цель агента; взаимные убеждения (отражающие общие достоверные знания множества агентов о внешнем мире (конъюнкция знаний агентов)). Понятия этого уровня ответственны за отражение действительности в терминах убеждений (достоверных знаний) агента. Второй тип понятий – это понятия для описания поведения агентов: индивидуальные и общие обязательства (это обязательства по достижению индивидуальной или общей цели коллектива агентов); соглашения (отражают условия отказа агентом от своих обязательств); индивидуальные и общие намерения (отражают особенности коллективного взаимодействия агентов). К недостаткам теории общих намерений относят трудности при построении плана работы команды агентов в динамических ситуациях [3, 4], когда план приходится пересматривать в динамическом контексте ситуации.

В теории общих планов [20] основными базовыми понятиями являются понятия группового плана и индивидуальных ментальных понятий агентов (намерений, убеждений и т.д.). Для выполнения группового плана агенты должны прийти к соглашению о действиях, которые они будут выполнять, реализуя

групповой план. Таким образом, теория общих планов описывает множество взаимосвязанных намерений и убеждений агентов, работающих в команде.

В теориях общих намерений и общих планов агенты часто не могут построить общий план, выполняя только частичные планы, многократно пересматривая их. Такой перманентный пересмотр планов возникает в динамических ситуациях, а также при условии противодействия соперников – агентов, препятствующих командной работе группы агентов [3, 4].

Для многих случаев моделирования командной работы оказывается достаточным использование агентов с простой реактивной архитектурой (стимул-реакция). Агент с реактивной архитектурой реагирует некоторым действием на любое изменение среды, в которой он находится. Для реализации реактивной архитектуры необходимо перечислить возможные состояния среды и всевозможные реакции на эти состояния. Интерес к моделированию коллективного поведения простых реактивных агентов появился в 60-е годы прошлого столетия. Так, в работах [1, 12, 16] на основе изучения коллективного поведения конечных автоматов были заложены теоретические основы коллективного взаимодействия агентов. С помощью реактивных агентов реализуется, как правило, несложное командное поведение агентов – это образование стаи или роя агентов, которое реализуется с помощью роевых и эволюционных алгоритмов [5]. Исследуются разнообразные алгоритмы обхода стаей (роем) агентов препятствий, уклонение от столкновения [9] и т.д.

Агенты с реактивной архитектурой могут решать и более сложные задачи, если определены правила их поведения в среде и модели среды их функционирования. Например, если предположить, что агенты рациональны и ведут себя в соответствии с некоторой функцией полезности, пытаясь ее максимизировать, то задачи коммуникации агентов для командной работы могут быть значительно сокращены.

Рассмотрим, например, алгоритмы образования коалиций, основанные на методах решения кооперативных игр. Задача образования коалиции в рамках этой теории решается при условии

рациональности агентов и полной информированности всех агентов о целях, ресурсах и стратегиях других агентов, а также при условии их рационального поведения и возможности дележа выигрыша, полученного коалицией агентов. Коалиционную игру представляют форме характеристической функции [7]. Игра задается множеством агентов A и характеристической функцией $\gamma(\cdot)$ на всех возможных подмножествах агентов – коалициях. Выигрыш коалиции определяется как сумма индивидуальных выигрышей всех участников коалиции. Считается, что агенты коалиции могут делиться своими выигрышами, рационально распределяя его между другими участниками коалиции. Дележ $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ выигрыша коалиции $\gamma(K)$ должен удовлетворять определенным условиям, одно из которых – это условие индивидуальной рациональности агента. Это условие означает, что выигрыш любого агента коалиции x_i должен превышать его выигрыш $\gamma(\{i\})$, если бы этот агент действовал самостоятельно, т.е. $x_i > \gamma(\{i\})$, $i \in K$. Понятие решения в коалиционной игре связано с устойчивостью дележа. Дележ выигрыша должен лишать участников коалиции мотиваций покидать коалицию, обеспечивая ее устойчивость. Для этого он должен доминировать дележи выигрыша других коалиций. Существуют методы решения кооперативных игр (С-ядро, МН-решения и др.) [7]. Однако при обеспечении полной информированности агентов эти методы имеют экспоненциальную сложность вычислений и коммуникаций между агентами относительно их числа, что ограничивает возможность их практического применения [11].

Еще одна группа методов – это методы, основанные на моделировании поведения агентов при образовании коалиций на основе теорий социального выбора и социальной зависимости субъектов [18, 19, 21]. Эти методы позволяют оперативно решать вопросы образования открытых динамических коалиций, состав которых может меняться в процессе решения задачи, а агенты могут свободно входить в состав коалиции или выходить из нее [18, 19, 21].

Здесь задано множество агентов $A = \{a_i\}$, для каждого из которых определены: $ACT(a_i)$ – множество возможных действий агента a_i ; $RES(a_i)$ – множество ресурсов агента a_i ; $PL(a_i)$ – план действий агента a_i для достижения цели o_j . План действий агента реализуется им для достижения цели путем манипулирования имеющимися ресурсами. План можно представить парой $PL(a_i) = (act_i^j, res_i^j)$, где $act_i^j \in ACT(a_i)$, $res_i^j \in RES(a_i)$.

Если у агента a_i для реализации плана достижения собственной цели нет ресурса $res_i^j \notin RES(a_i)$, но этот ресурс есть у агента a_q , $res_i^j \in RES(a_q)$, то считается, что агент a_i может обратиться к агенту a_q с просьбой передать недостающий ресурс. Если ресурс будет выделен, то агент a_i становится зависимым от агента a_q . Эта зависимость становится устойчивой, если агент a_i в свою очередь поделится каким-либо своим ресурсом с агентом a_q . Зависимости между агентами могут возникать по отношению ресурсов и действий. К недостаткам этого подхода относят отсутствие стимула у агентов для кооперации. Это связано с отсутствием общей цели или отсутствием знаний у агентов о зависимости между их целями [13].

Использование в модели кооперации агентов известных закономерностей предметной области позволяет снизить сложность процесса коммуникаций между ними [11,19], повысить их автономность и возможности командной работы в динамических ситуациях.

В этой работе предложена модель кооперации агентов, основанная на моделях социального поведения, изложенных в работах социальных психологов Д. Хоманса [15] и Л. Фестингера [14]. В этих работах предложены: модель функционирования малых социальных групп (коалицию можно рассматривать как малую социальную группу) на основе обмена полезностями и концепция когнитивного диссонанса, позволяющая оценить субъективные ощущения агентов о справедливости в коалиции и моделировать ее устойчивость.

2. Базовая модель

Рассмотрим динамическую систему и множество агентов A , которые пытаются изменить состояние системы на выгодное для каждого из них состояние. В качестве математической модели системы выбрана модель представления экспертных знаний о процессах в динамической системе в виде качественной когнитивной карты [6]. В когнитивной карте определено множество факторов ситуации $F = \{f_i\}$, упорядоченное множество лингвистических значений факторов $L_i = \{l_{ij}\}$, $l_{ij} \prec l_{ij+1}$, $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$, и причинно-следственные отношения между факторами – W .

Динамика изменения факторов ситуации в когнитивной карте задается системой конечно-разностных логико-лингвистических уравнений

$$(1) \quad Y(t+1) = W^{\circ} Y(t),$$

где W – система правил «Если, то», заданная на множестве всех возможных значений факторов ситуации $W: \times_i L_i \rightarrow \times_i L_i$; $Y(t)$ – состояние ситуации – это вектор лингвистических значений (l_{1j}, \dots, l_{nb}) , т.е. $Y(t) = (l_{1j}, \dots, l_{nb})$, $l_{ij} \in L_i, \forall i$, – правило вывода.

Логико-лингвистические модели [10] позволяют описывать динамические ситуации, параметры которых могут быть измерены экспертным способом и представлены в качественных порядковых шкалах. Динамика моделируется с помощью системы продукционных правил, отражающих закономерности предметной области. Применение такого рода моделей значительно расширяют класс моделируемых ситуаций.

Каждый агент характеризуется следующим кортежем:

$$\langle g_q, r_q, e_q, \mu_q(Y_q, g_q) \rangle,$$

где

1) $g_q = (l_{1j}, \dots, l_{nb})$ – вектор целевых факторов и их лингвистических значений для агента q ;

2) $r_q = (l_{1j}, \dots, l_{nb})$ – стратегия управления агента q , где $r_q \in U_q$, $U_q = \times_i L_{qi}^r$, $L_{qi}^r \subseteq L_i$ – ресурсы агента q . Считается, что если агент q применяет стратегию r_q для достижения своей цели

g_q , то прогноз развития ситуации на n шагах моделирования определится из соотношения (1) при условии, что $Y_q(0) = r_q$, т.е.

$$3) Y_q(1) = W^{\circ} r_q, Y_q(2) = W^{\circ} Y_q(1), \dots, Y_q(n) = W^{\circ} Y_q(n-1).$$

4) $e_q: (u(g_q), (v(r_q))) \rightarrow R^+$ – эффективность достижения агентом целевой ситуации, где $u(g_q)$ – полезность целевой ситуации, $u: g_q \rightarrow R^+$; $v(r_q)$ – затраты агента для достижения целевой ситуации, $v: r_q \rightarrow R^+$;

5) $\mu_q(Y_q(n), g_q)$ – возможность достижения агентом q целевой ситуации за счет собственных ресурсов в условиях противодействия агентов противников.

При определении возможности достижения целевой ситуации считается, что в пространстве состояний $(\times_i L_i)$ определена метрика $\rho(a, b)$, $a, b \in \times_i L_i$. Тогда возможность достижения цели агентом определяется как близость прогнозной ситуации $Y_q(n)$ и его целевой ситуацией g_q :

$$\mu_q(Y_q(n), g_q) = \rho(Y_q(n), g_q).$$

При этом прогноз развития ситуации $Y_q(n)$ для каждого агента строится с учетом противодействия противников [6]. По сути, этот показатель определяет потенциальную «силу» каждого агента коалиции без поддержки потенциальных сторонников при условии противодействия противников.

2.1. НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОАЛИЦИИ

Очевидно, что в качестве потенциальных сторонников в конфликтной ситуации необходимо выбирать агентов, цели которых близки. Сторонниками считается множество агентов с близкими целями, т.е. $K \subseteq A$, $\rho(g_i, g_q) \leq \varepsilon$, $\forall i, q \in K$, ε – критерий близости целей, определяется экспертом. При этом остальные агенты AK считаются противниками коалиции. Близость целей агентов – это необходимые условия образования коалиции, не позволяющие судить об ее устойчивости. В настоящей работе на основе теории социального поведения субъектов [15] анализируется взаимная полезность агентов при объединении их ресурсов для достижения общей цели. Считается, что дисбаланс во взаимной полезности агентов в коалиции создает у них ощу-

щения несправедливости, которые увеличивают их мотивации выхода из коалиции, угрожающих ее устойчивости. Для оценки ощущений агентов о несправедливости в коалиции используется теория когнитивного диссонанса [14].

2.2. КРИТЕРИЙ ВЗАИМНОЙ ПОЛЕЗНОСТИ АГЕНТОВ В КОАЛИЦИИ

Агенты q и i называются взаимно полезными, если объединение их стратегий $r_i \oplus r_q$ увеличивает возможность достижения собственных целей (g_q, g_i) агентами q и i в условиях противодействия их противников. То есть если $\mu(Y_{i+q}, g_i) < \mu(Y_i, g_i)$, $\mu(Y_{i+q}, g_q) < \mu(Y_q, g_q)$. Степень полезности $P(i, q)$ агента q для агента i определяется из соотношения

$$(2) \quad P(i, q) = 1 - \frac{\mu(Y_{i+q}, g_i)}{\mu(Y_i, g_i)},$$

где $\mu(Y_{i+q}, g_i)$, – возможности достижения агентами q и i своих целей при объединении их стратегий; $\mu(Y_q, g_q)$, $\mu(Y_i, g_i)$ – возможности достижения агентами q и i своих целей собственными силами в условиях противодействия противников.

Полезность игрока q для игрока i максимальна, т.е. $P(i, q) = 1$, когда при объединении их стратегий игрок i достигнет своей цели g_i . В этом случае $\mu(Y_{i+q}, g_i) = \rho(Y_{i+q}, g_i) = 0$. Если при объединении стратегий расстояние до цели не изменилось, $\mu(Y_{i+q}, g_i) = \mu(Y_i, g_i)$, то полезность игрока нулевая, $P(i, q) = 0$. И, наконец, если при объединении стратегий расстояние до цели увеличилось, $\mu(Y_{i+q}, g_i) > \mu(Y_i, g_i)$, то игрок q вреден для игрока i .

Социальное поведение в социальной группе – это обмен ценностями между агентами (ресурсами, полезностями и т.д.). Целостность группы достигается при балансе «сил» между обменами при условии, что каждый агент получает при этом максимальную выгоду [15].

По критерию взаимной полезности коалиция K устойчива, если агенты коалиции одинаково полезны друг для друга

$P(i, q) = P(q, i), \forall i, q \in K$, и имеют равную эффективность участия в коалиции, т.е. $e_i = e_q$.

2.3. КРИТЕРИЙ КОГНИТИВНОГО ДИССОНАНСА

Наличие дисбаланса взаимной полезности или эффективности агентов, включенных в коалицию, приводит к возникновению скрытых (латентных) конфликтов в коалиции, которые характеризуют ощущения каждого агента о несправедливости в коалиции, и определяются уровнем его когнитивного диссонанса. Когнитивный диссонанс – это противоречие в системе знаний человека, порождающее у него неприятные переживания и побуждающее его к действиям, направленным на устранение этого противоречия [14]. Когнитивный диссонанс вызывает у субъекта (агента) стремление уменьшить его или препятствовать его росту. Проявление этого стремления у агентов приводит к изменению его поведения [14], которое приводит к их выходу из коалиции, т.е. к неустойчивости коалиции.

Степень когнитивного диссонанса по взаимной полезности между агентами i, q определяется из соотношения

$$(3) \quad D^W(q, i) = \frac{P(i, q) - P(q, i)}{P(i, q) + P(q, i)}, \quad D^W(q, i) = D^W(i, q), \quad \forall i, q, i \neq q.$$

Степень когнитивного диссонанса по эффективности между агентами i, q определится из соотношения

$$(4) \quad D^W(i, q) = \frac{e_i - e_q}{e_i + e_q}, \quad D^E(i, q) = -D^E(q, i), \quad \forall i, q, i \neq q.$$

По критерию когнитивного диссонанса устойчивая коалиция определится следующим образом: коалиция K устойчива, если для всех агентов $i, q \in K$ их когнитивные диссонансы по полезности и эффективности близки к нулю: $D^W(i, q) \approx 0, D^E(i, q) \approx 0, \forall i, q$.

3. Пример

В качестве примера рассмотрим описание в терминах предложенной модели кооперативного взаимодействия агентов, иг-

рающих в футбол. Моделирование игры в футбол считается «полигоном» для демонстрации возможностей разнообразных методов искусственного интеллекта, определяющих поведение искусственных агентов – роботов. С 1997 года проходят международные соревнования роботов (RoboCup), играющих в футбол. На деле это соревнование научных и инженерных школ, разрабатывающих роботов, методы и алгоритмы их поведения в сложной динамической игре. Возникающая при этом конкуренция между разработчиками роботов не способствует опубликованию методов и алгоритмов, реализующих поведение роботов-футболистов. В работе [8] изложены основные методы и подходы к моделированию игры в виртуальный футбол.

В настоящее время популярность набирает виртуальный футбол с футбольными командами, состоящих из виртуальных игроков (программных агентов) [2]. В этой игре характеристики игрока и характеристики его командного поведения индивидуально настраиваются пользователем (футбольным менеджером) для создания виртуальной футбольной команды. Созданные таким образом многочисленные виртуальные футбольные команды участвуют в соревнованиях (чемпионатах) в интернете для определения лучшей команды и, следовательно, лучших настроек виртуальной футбольной команды. Несмотря на зрелищность 3D-визуализаций трансляций футбольных матчей виртуальных команд, в этом случае модель виртуального футболиста неизвестна и возможностей для экспериментов по моделированию его поведения на основе предложенных выше идей практически нет.

Поэтому далее опишем игру в футбол в терминах рассмотренной выше базовой модели кооперативного взаимодействия агентов (игроков) на основе взаимной полезности и когнитивного диссонанса.

Игру в футбол будем считать динамической системой. Параметры этой системы суть положение игроков (агентов) двух противоборствующих команд $A = \{a_i\}$ и $B = \{b_i\}$ на футбольном поле. Состояние футбольной игры как динамической системы будем характеризовать вектором положения всех

игроков – агентов и мяча на плоскости в последовательные моменты времени:

$$(5) \quad Y(t) = (x_{ai}(t); y_{ai}(t)), \dots, (x_{bi}(t); y_{bi}(t), \text{Ball}), i = 1, \dots, N,$$

где N – число агентов обеих команд; $t = 1, \dots, n$; $\text{Ball} = (x_m(t); y_m(t))$ – координаты мяча.

Координаты ворот противников заданы интервалами: ворота команды A – $G_A = (x_a; [y_{a1}, y_{a2}])$ и, соответственно, ворота команды B – $G_B = (x_b; [y_{b1}, y_{b2}])$.

Цели игроков команды A – забить мяч в ворота команды B , т.е. $\forall a_i, g_{ai} = (x_m(t); y_m(t)) \mid (x_m(t); y_m(t)) \in (x_b; [y_{b1}, y_{b2}])$, и, соответственно, игроков команды B – забить мяч в ворота команды A , т.е. $\forall b_i, g_{bi} = (x_m(t); y_m(t)) \mid (x_m(t); y_m(t)) \in (x_a; [y_{a1}, y_{a2}])$. То есть игроки каждой команды изменяют координаты мяча до тех пор, пока они не совпадут с координатами ворот противника.

Стратегии игроков (агентов) команд $A(B)$ – это их действия на каждом шаге дискретного времени. Далее будем описывать поведения игроков команды A , предполагая что поведение игроков команды B описывается аналогично. Итак, действия игроков команд следующие:

- $r_1(a_i, t)$ – движение к мячу;
- $r_2(a_i, t)$ – движение с мячом к воротам;
- $r_3(a_i, t)$ – удар по воротам;
- $r_4(a_i, t)$ – перемещение в позицию паса;
- $r_5(a_i, a_j, t)$ – пас партнеру по команде.

Любое из названных действий игроков изменяет состояние ситуации $Y(t)$.

Эффективность игрока – это соотношение его ожиданий вознаграждения за игру $u(a_i)$ к результативности его игры $v(r_q)$. Результативность игрока выражается интегральной оценкой его результативных действий. Под результативными действиями понимаются следующие действия: $r_3(a_i)$ – удар по воротам и $r_5(a_i, a_j, t)$ – пас партнеру по команде.

Возможность достижения цели игроками команд $A(B)$ определяется ресурсами агента. В данном случае под ресурсами агента понимаются его индивидуальные характеристики и особенности его позиция на поле.

Будем рассматривать следующие характеристики позиции игрока:

- $d(a_i, G_B, t) = \rho((x_{ai}(t); y_{ai}(t)), (x_{a(b)}; [y_{a1}, y_{a2}]))$ – близость агента к воротам противника;
- $d(a_i, b_j, t) = \rho((x_{ai}(t); y_{ai}(t)), (x_{bj}(t); y_{bj}(t)))$ – близость противников, которые могут помещать игроку.

Индивидуальные характеристики игрока – это его индивидуальная скорость $V(a_i)$ и его действия $r_1(a_i, t), \dots, r_5(a_i, a_j, t)$.

3.1. КООПЕРАЦИЯ АГЕНТОВ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ ИХ ПОЛЕЗНОСТИ

В работе [6] было показано, что полезными агентами для кооперации являются агенты, имеющие большую возможность достижения цели. Определим правило вычисления полезности агента, выразив ее через составляющие их возможности достижения цели, и определим их действия.

Агент a_i полезен своим партнерам по критерию близости к воротам противника (K_G^B), если $d(a_i, G_B) < d(a_q, G_B)$, $i \neq q$, $q = 1, \dots, N/2$. То есть агент полезен, если он находится ближе всех своих партнеров к воротам противника. В этом случае значение этого критерия равно единице, т.е. $K_G^B = 1$.

Агент a_i полезен своим партнерам по критерию близости противников (K^B), если $d(a_i, b_j) > d(a_q, b_j)$, $i \neq q$, $q = 1, \dots, N/2$, $j = N/2 + 1, \dots, N$. То есть агент полезен, если он находится дальше всех своих партнеров от игроков противника. В этом случае значение этого критерия равно единице, т.е. $K^B = 1$.

Агент a_i полезен своим партнерам по критерию скорости (K^V), если $V(a_i) > V(a_q)$, $i \neq q$, $q = 1, \dots, N/2$. То есть агент полезен, если его скорость больше скоростей остальных партнеров. В этом случае значение этого критерия равно единице, т.е. $K^V = 1$.

Интегральная характеристика полезности агента определяется значением функции: $P(a_i) = F(K_G^B, K^B, K^V)$.

В качестве одного из вариантов такой функции рассмотрим линейную свертку с коэффициентами предпочтений полезностей положения игрока – α, β, γ , полученных с помощью процедуры парных сравнений. В этом случае,

$$P(a_i) = \alpha K_G^B + \beta K^B + \gamma K^V, \alpha + \beta + \gamma = 1.$$

Тогда $P(a_i) = 1$ при $K_G^B = K^B = K^V = 1$, и $P(a_i) = 0$ при $K_G^B = K^B = K^V = 0$.

3.2. ВЫБОР СТРАТЕГИИ АГЕНТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОЛЕЗНОСТИ АГЕНТОВ

Построить план взаимодействия игроков одной команды для достижения цели в динамической ситуации и в случае противодействия игроков (агентов) противника оказывается затруднительным. Поэтому в данном случае для игроков (агентов) формулируются правила поведения агентов, учитывающие закономерности игры в футбол.

Правила поведения игроков предписывают им действия, которые способствуют командной работе для достижения цели. В этой работе рассмотрены два типа правил:

- командной игры;
- эгоистичного поведения.

Правило командной игры будем рассматривать для двух случаев: агент не владеет мячом; агент владеет мячом. Для агента, не владеющего мячом, определено следующее множество правил $W_b = \{w_{b1}, w_{b2}\}$:

- правило w_{b1} : если агент находится ближе к мячу, чем другие агенты команды, то он выбирает действие $r_1(a_i, t)$ (движение к мячу);
- правило w_{b2} : если есть другой агент, который находится ближе к мячу, то агент выбирает действие $r_4(a_i, t)$ (перемещение в позицию паса).

Для агента, владеющего мячом, выбор действия основан на анализе полезности партнеров по команде. В этом случае также определено множество правил $W_{nb} = \{w_{nb3}, w_{nb4}, w_{nb5}\}$:

- если полезность игрока, владеющего мячом, выше, чем полезность остальных партнеров, т.е. $P(a_i) > P(a_q)$, $i \neq q$, $q = 1, \dots, N/2$, то агент выбирает действие в зависимости от расстояния до ворот противника.

- правило w_{nb3} : при большом расстоянии выбирается действие $r_2(a_i, t)$ (движение с мячом к воротам);

- правило w_{nb4} : при близком расстоянии выбирается действие $r_3(a_i, t)$ (удар по воротам).
- правило w_{nb5} : если полезность игрока, владеющего мячом, ниже, чем полезность одного из партнеров, то выбирается действие $r_5(a_i, a_j, t)$ – пас партнеру по команде (a_j), имеющему большую полезность.

Правила эгоистичного поведения агентов будут рассмотрены в следующем разделе.

3.3. УСТОЙЧИВОСТЬ КООПЕРАЦИИ АГЕНТОВ

Ранее при принятии агентом решения учитывалась только полезность агентов для достижения цели на одном такте. Для анализа устойчивости кооперации агентов необходим анализ взаимной полезности агентов и анализ когнитивного диссонанса их эффективности на протяжении игры.

В базовой модели взаимная полезность игрока определялась (2) как соотношение возможностей достижения цели при объединении стратегий двух игроков и собственными силами. Считается, что объединение стратегий должно увеличивать (по крайней мере не уменьшать) возможность достижения цели каждым игроком. В рассматриваемом примере будем считать, что передача паса партнеру, основанная на анализе его полезности, увеличивает возможность достижения этим партнером цели, т.е. дает ему возможность забить гол.

Поэтому взаимная полезность агентов в игре в футбол определяется суммарным числом пасов между парой агентов:

$$P(a_i, a_j) = \frac{\sum_{t=1, \dots, n} r_5(a_i, a_j, t)}{\sum_{t=1, \dots, n} r_5(a_i, a_j, t) + \sum_{t=1, \dots, n} r_5(a_j, a_i, t)}, \quad P(a_j, a_i) = 1 - P(a_i, a_j).$$

Здесь $\sum_{t=1, \dots, n} r_5(a_i, a_j, t)$ и $\sum_{t=1, \dots, n} r_5(a_j, a_i, t)$ – число пасов агента a_i агенту a_j и, соответственно, a_j агенту a_i за промежутки времени игры $t = 1, \dots, n$.

Агенты с неравной взаимной полезностью характеризуются когнитивным диссонансом, вычисляемым по формуле (3), и могут изменять свое поведение. Изменение поведение проявляется

в изменении правил выбора агента на основе полезности агента партнера.

При анализе когнитивного диссонанса по эффективности агентов считается, что агенты получают вознаграждение пропорционально их результативности (забитые голы). Эффективность агента определится из соотношения

$$E(a_i) = \frac{\sum_{t=1, \dots, n} r_3(a_i, t)}{\sum_{\substack{t=1, \dots, n \\ i=1, \dots, N/2}} r_3(a_i, t)},$$

где в числителе число голов, забитых игроком a_i за период времени $t = 1, \dots, n$; в знаменателе общее число голов, забитых игроками команды.

Агенты с неравной эффективностью характеризуются когнитивным диссонансом по эффективности, вычисляемой по формуле (4), и могут изменять свое поведение, изменения правила выбора агента на основе полезности агента партнера.

Правило эгоистического поведения может применяться при наличии когнитивного диссонанса при выполнении агентами командной работы.

Множество правил эгоистического поведения агента $W_e = \{w_{e1}, w_{e2}\}$ следующее:

- правило w_{e1} : если игрок, владеющий мячом, выбирает действие $r_5(a_i, a_j, t)$ – пас партнеру по команде (a_j), имеющему большую полезность, и если когнитивный диссонанс этого игрока (a_i) по отношению к партнеру (a_j) близок нулю, $D^E(a_i, a_j) \approx 0$, то пас передается, т.е. выполняется действие $r_5(a_i, a_j, t)$;

- правило w_{e2} : если игрок, владеющий мячом, выбирает действие $r_5(a_i, a_j, t)$ – пас партнеру по команде (a_j), имеющему большую полезность, и если когнитивный диссонанс этого игрока (a_i) по отношению к партнеру (a_j) больше нуля, $D^E(a_i, a_j) > \varepsilon$, то пас не передается, выполняются действия: $r_2(a_i, t)$ – движение с мячом к воротам и (или) $r_3(a_i, t)$ – удар по воротам. Здесь ε определяется экспертом как область нечувствительности к небольшим значениям когнитивного диссонанса.

Иными словами, при эгоистическом поведении игрока он не передает пас наиболее полезному игроку, если этот игрок имеет большую эффективность, т.е. имеет лучшую результативность и получает большее вознаграждение. Эгоистический игрок действует самостоятельно, пытаясь повысить свою результативность (забить гол) и, соответственно, получить вознаграждение.

3.4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ

В базовой модели состояние управляемой множеством агентов динамической системы изменяется под действием стратегий всех агентов. При этом считается, что все агенты применяют свои стратегии одновременно на первом дискретном шаге моделирования, прогнозируя развитие ситуации на n шагов. Изменение состояния системы описывается системой правил W , представленных в уравнении (1).

При описании игры в футбол агенты изменяют состояние системы на каждом дискретном шаге моделирования, используя для этого продукционные правила из множеств правил W_b , W_{nb} , W_e , описанных выше. Каждое продукционное правило из этих множеств состоит из двух частей:

- часть «Если...» включает условия срабатывания правила. Условия срабатывания правила зависят от вектора состояния футбольной игры $Y(t)$ (5), а также от вычисляемых по этому вектору индивидуальных характеристик полезности, когнитивного диссонанса каждого игрока;

- часть «То...», включающая действие, которое будет выполнено при выполнении условий из части «Если». Под действиями здесь понимаются действия $r_1((a_i), t), \dots, r_5(a_i, a_j, t)$, которые изменяют вектор состояния футбольной игры $Y(t)$ (5) на новое состояние $Y(t+1)$.

Множество всех правил $W = W_b \cup W_{nb} \cup W_e \cup W_{pl}$ назовем базой правил, где

- W_b – множество правил поведения игрока, не владеющего мячом;
- W_{nb} – множество правил поведения игроков, владеющих мячом;

- W_e – множество правил эгоистичного поведения;
- W_{pl} – множество правил вычисления индивидуальных характеристик игроков по вектору состояния игры $Y(t)$.

Тогда уравнение динамики игры в футбол будет описано уравнением (1) базовой модели.

3.5. ЭКСПЕРИМЕНТ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенная модель кооперации агентов была исследована экспериментально. Для этого в среде моделирования многоагентных систем VisualBots for Excel [23] была разработана программа, моделирующая игру в футбол двух команд, состоящих из четырех игроков. Агенты в каждой команде незначительно отличались по скорости. Так, агенты 1 и 3 команды A и агенты 1 и 4 команды B имеют скорость равную 1, агенты 2 обеих команд имеют скорость 0,9, а агент 4 и агент 3 команд соответственно A и B имеют скорость 0,7.

Считается, что все агенты получают вознаграждение пропорционально количеству забитых голов, независимо от выигрыша или проигрыша команды.

Перед экспериментальным исследованием ставились две задачи. Первая задача заключается в проверке правдоподобности теоретической модели кооперативного взаимодействия на основе их полезности и когнитивного диссонанса их взаимодействия. Вторая задача заключалась в проверке механизмов взаимодействия агентов при решении кооперативной задачи.

В качестве механизма взаимодействия агентов была рассмотрена модель с общей памятью. Суть этой модели заключается в том, что все агенты сохраняют координаты своего положения на поле в общей памяти и не общаются между собой непосредственно.

Каждый агент может считать информацию об агентах своей команды или агентах из команды противника из общей памяти и на основе ее анализа (полезности игрока (агента)) принимать действия, описанные выше в теоретической модели.

На рис. 1 показано окно системы моделирования, в котором игроки разных команд обозначены как фигуры насекомых:

«Пчелки» и «Божьи коровки». Ломаная линия в этом окне показывает траекторию мяча (мяч обозначен точкой) в процессе его распасовки игроками команды.

На рис. 2–5 показаны результаты экспериментов. Здесь по оси абсцисс показаны номера игроков команд, а по оси ординат – количество пасов партнерам (рис. 2 и рис. 4) и забитых голов (рис. 3 и рис. 5) в двух сериях игр: без учета и с учетом диссонанса игроков.

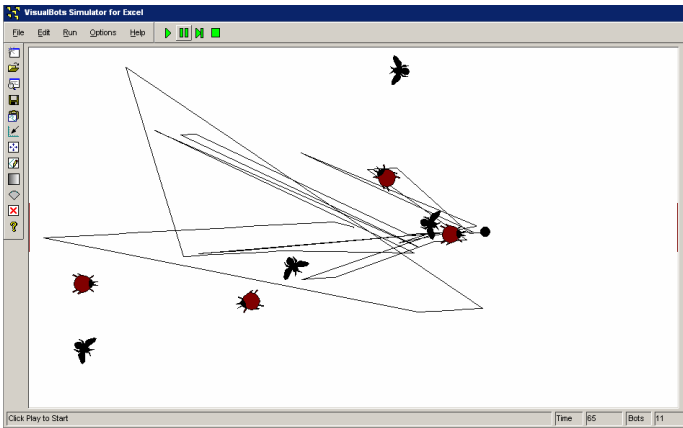


Рис. 1. Окно системы моделирования

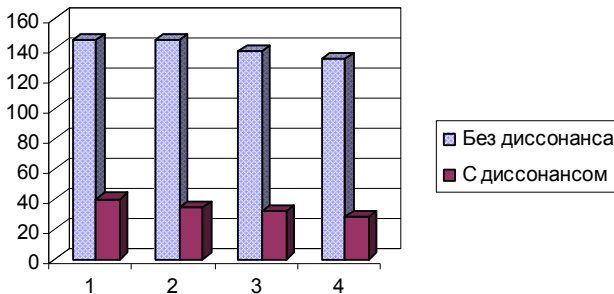


Рис. 2. Пасы игроков команды А

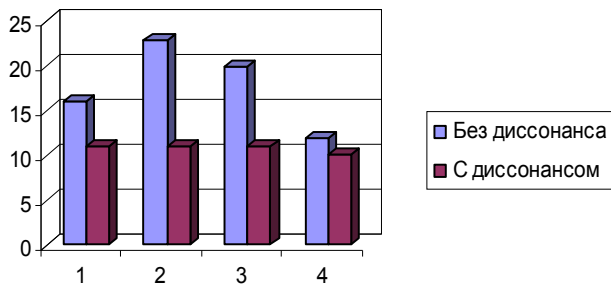


Рис. 3. Голы игроков команды А

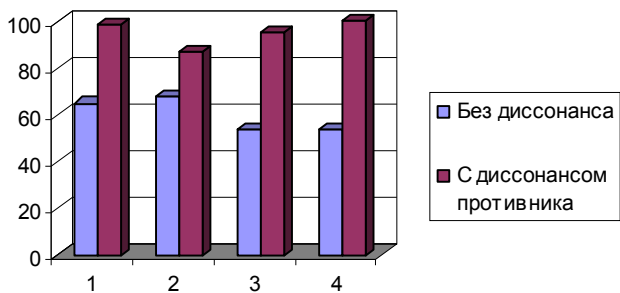


Рис. 4. Пасы игроков команды В

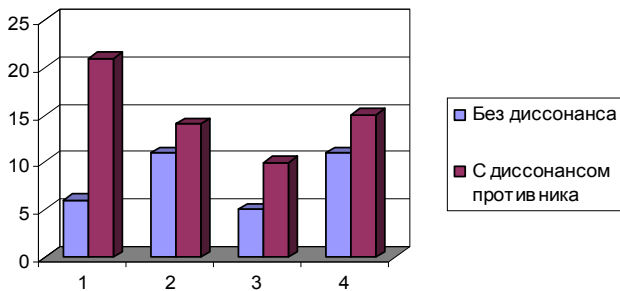


Рис. 5. Голы игроков команды В

Имитационное моделирование поведения агентов на основе анализа полезности агентов (без диссонансов) показало, что агенты с меньшими скоростями характеризуются меньшей результативностью по забитым голам, но не по количеству пасов партнерам (игрок №4 команды А, игрок №3 ко-

манды *B*). Это может быть интерпретировано как самоорганизация агентов в команде. То есть агенты с меньшей скоростью выполняют задачи защитников, а агенты с большей скоростью играют в нападении.

При моделировании поведения агентов с учетом диссонансов диссонансы учитывались только для игроков команды *A*. То есть все игроки команды *A* при передаче паса партнеру учитывают не только его полезность, но и диссонанс с партнером по эффективности. Если эффективность партнера выше, чем у игрока, передающего пас, то пас не передается. Этот игрок, из-за зависти или эгоистических соображений, пытается самостоятельно забить гол и получить вознаграждение.

На рис. 2 и рис. 3 показано, что результативность распасовки игроков команды *A* при учете диссонансов агентов резко снизилась. Снизился и диссонанс по эффективности (забитым голам) – все игроки забивают одинаковое количество голов и, следовательно, получают равное вознаграждение. Игроки же команды *B*, играющие с «эгоистичной» командой *A*, повысили свою результативность (рис. 4, рис. 5).

4. Заключение

Предложена математическая модель командной работы агентов на основе критериев полезности агентов и их когнитивных диссонансов. Модель основана на работах социальных психологов, исследовавших особенности поведения людей в малых социальных группах и объясняющих принципы их функционирования, устойчивости, сплоченности и т.д. На основе предложенной модели разработана имитационная модель игры агентов (роботов) в виртуальный футбол. Разработанная имитационная модель позволяет моделировать различные аспекты командного поведения агентов.

Имитационное моделирование командного поведения агентов на основе предложенных математических моделей выявило, что индивидуальные отличия агентов по скорости перемещения создают условия самоорганизации в команде. Так, в командах

появляются агенты, выполняющие разные задачи: «нападающие» и «защитники» – это агенты с большей и меньшей скоростями соответственно.

Моделирование эгоистичного поведения агентов одной из команд выявило факт уменьшения когнитивного диссонанса этих агентов (все агенты забывают равное число голов) и увеличения индивидуальной игры, что выражается в сокращении числа пасов в эгоистичной команде.

Предложенная модель может служить алгоритмической основой для реализации поведения автономных роботов в задачах кооперации в сложных динамических ситуациях и в условиях противодействия противников.

Литература

1. ВАРШАВСКИЙ В.И., ПОСПЕЛОВ Д.А. *Оркестр играет без дирижера*. – М: Наука 1984. – 208 с.
2. *Виртуальная футбольная лига*. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.virtualsoccer.ru/> (дата обращения: 16.07.2014).
3. ГОРОДЕЦКИЙ В.И. *Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов. Обзор (Часть 1)* // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – №2. – С. 19–30.
4. ГОРОДЕЦКИЙ В.И. *Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов. Обзор (Часть 2)* // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – №3. – С. 34–47.
5. КАРПОВ В.Э. *Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное* // Современная мехатроника. Сб. научн. трудов Всероссийской научной школы (г. Орехово-Зуево, 22–23 сентября 2011). – Орехово-Зуево, 2011. – С. 35–51.
6. КУЛИНИЧ А.А. *Модель поддержки принятия решений для образования коалиций в условиях неопределенности* // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – №2. – С. 95–106.
7. ОУЭН Г. *Теория игр*. – М.: Мир, 1971. – 230 с.

8. ОХОЦИМСКИЙ Д.Е., ПАВЛОВСКИЙ В.Е., ПЛАХОВ А.Г., ТУГАНОВ А.Н., ПАВЛОВСКИЙ В.В. *Моделирование игры роботов-футболистов в пакете «Виртуальный футбол»* // Мехатроника. – 2002. – №1. – С. 2–5.
9. ПАВЛОВСКИЙ В.Е., КИРИКОВА Е.П. *Моделирование управляемого адаптивного поведения гомогенной группы роботов* // Искусственный интеллект. – 2002. – №4. – С. 596–605.
10. ПОСПЕЛОВ Д.А. *Логико-лингвистические модели в системах управления*. – М.: «Энергоиздат», 1981. – 232 с.
11. СМИРНОВ А.В., ШЕРЕМЕТОВ Л.Б. *Модели формирования коалиций кооперативных агентов: состояние и перспективы исследований* // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – №1. – С. 36–48.
12. СТЕФАНЮК В.Л., ЦЕТЛИН М.Л. *О регулировке мощности в коллективе радиостанций* // Проблемы передачи информации. – 1967. – Т. 3, №4. – С. 59–67.
13. ТАРАСОВ В.Б. *От многоагентных систем к интеллектуальным организациям*. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
14. ФЕСТИНГЕР Л. *Теория когнитивного диссонанса*. – СПб.: Ювента, 1999. – С. 15–52.
15. ХОМАНС ДЖ. *Социальное поведение как обмен. Современная зарубежная социальная психология*. – М.: Изд-во Московского университета, 1984. – С. 82–91.
16. ЦЕТЛИН М.Л. *Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем*. – М.: Наука, 1969. – 316 с.
17. COHEN P., LEVESQUE H.J. *Teamwork* // Nous. Special Issue on Cognitive Science and Artificial Intelligence. – 1991. – No. 25(4). – P. 487–512.
18. CONTE R., EDMONDS B., MOSS S. and etc. *Sociology and Social Theory in Agent Based Social Simulation* // A Symposium: Computational and Mathematical Organization Theory. – 2001. – Vol. 7, №3. – P. 183–205.
19. GENESERETH M., GINSBERG M. AND ROSENCHIN J. *Cooperation without Communication* // Proc. Annual Conf. Assoc. Artificial Intelligence, Philadelphia, 1986. – P. 51–57.

20. GROSZ B., KRAUS S. *Collaborative Plans for Complex Group Actions* // Artificial Intelligence. – 1996. – №86. – P. 269–358.
21. SICHMAN J., CONTE R., CASTELFRANCHI C. et al. *A social reasoning mechanism based on dependence networks* // Proc. 11th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI), Amsterdam, Netherlands, 1994 – P. 188–192.
22. RAO A.S., GEORGEFF M.P. *BDI Agents: From Theory to Practice* // Proc. First International Conference on Multi-Agent Systems (ed. V.Lesser). – AAAI Press/The MIT Press, 1995. – P. 312–319.
23. *Visual Bots. Visual Programming for Agent-Based Simulation*. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.visualbots.com/downloads.htm> (дата обращения: 16.07.2014).

MODEL OF AGENTS (ROBOTS) COMMAND BEHAVIOUR: COGNITIVE APPROACH

Alexander Kulinich, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (kulinich@ipu.ru)

We suggest a mathematical model of agents' cooperation in dynamics, which employs agents' utility functions and cognitive dissonance of their relations. The model is based on the theories of social psychologists investigating behavior of people in small social groups and explaining principles of their functioning and stability. We illustrate the suggested model with a simulation of a virtual soccer game of agents (robots). The developed simulation allows modeling diverse aspects of agents' cooperation and selfish behavior.

Keywords: cooperation of agents, criteria of utility, cognitive dissonance, a rule of the agent behavior, command behavior, selfish behavior.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии П.Ю. Чеботарёвым

*Поступила в редакцию 17.07.2014.
Опубликована 30.09.2014.*

www.mtas.ru

ИНТЕРНЕТ-сайт теории управления организационными системами

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РАН



Целью сайта является предоставление специалистам по теории и практике управления организационными системами (ученым, преподавателям, аспирантам, студентам, а также реальным управленцам) доступа к ресурсам, отражающим современное состояние теории и возможности обмена идеями и результатами.

На сайте имеются разделы:

Теория – с обзором теории управления организационными системами, глоссарием, информацией для аспирантов;

Практика – с обзором результатов внедрения механизмов управления в реальных организациях;

Библиография – около 2500 публикаций по теории управления, снабжена классификатором и аннотациями;

Электронная библиотека – около 700 полнотекстовых монографий, статей и учебных пособий;

а также многое другое.

На сайте работает **форум**, на котором можно обсудить вопросы, относящиеся к математике, экономике, управлению организациями, узнать новости теории управления и ознакомиться с планируемыми конференциями и семинарами.

ubs.mtas.ru

Интернет-сайт электронного периодического
научного издания «Управление большими
системами: сборник трудов»

УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РАН

С 1998 года Институт проблем управления РАН выпускает периодический сборник трудов ученых, занимающихся разработкой и исследованием математических моделей управления большими (социально-экономическими, организационными, организационно-техническими и др.) системами. Все статьи, публикуемые в сборнике, проходят рецензирование ведущими специалистами по теории управления.

С 2006 года сборник "Управление большими системами" вместе с ведущим журналом ИПУ РАН "Проблемы управления" – включены в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

С июля 2007 года Сборник входит в список ВАК (перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук):

* по управлению, вычислительной технике и информатике (для докторов наук);

* по электронике, измерительной технике, радиотехнике и связи; по энергетике (для кандидатов наук).

**Уважаемые коллеги! Приглашаем Вас опубликовать
Вашу статью в очередном выпуске сборника
"Управление большими системами"!**

Периодичность сборника - 4 раза в год. Время выхода прошедшей рецензирование статьи - 3-4 месяца. Плата с авторов за публикацию рукописей не взимается.