

**Учреждение Российской академии наук
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
им. В.А. Трапезникова**

С.А. Юдицкий

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДИНАМИКИ
МНОГОАГЕНТНЫХ
ТРИАДНЫХ СЕТЕЙ**

СИНТЕГ
Москва – 2012

УДК 681.518:339.13

ББК 65.200-2с

Ю16

Юдицкий С.А.

Моделирование динамики многоагентных триадных сетей.

– М.: СИНТЕГ, 2012, 112 с.

ISBN 978-5-89638-121-1

В различных предметных областях широко применяются сетевые структуры, представляющие собой множество взаимодействующих автономных функциональных единиц – агентов. Среди факторов, определяющих поведение агента, первостепенными являются: цели, зависящие от внутренних ценностей, убеждений и приоритетов агента, а также от складывающейся внешней ситуации; действия, направленные на достижение целей; показатели, отображающие ключевые параметры агента. Модель агента, выражающая единство и взаимосвязь этих трех факторов, названа триадной, а сетевая структура на базе триадных агентов – многоагентной триадной сетью. Моделирование триадной сети предусматривает составление ее математического описания, проведение на его основе имитационных экспериментов с выявлением динамических характеристик сети (определение временных и ресурсных характеристик, конфликтных ситуаций, «узких мест» и т.д.) и прогнозированием развития сети на заданном временном горизонте.

В книге с привлечением ряда реальных примеров рассмотрены модели и методы математического описания (графового и алгебраического) триадных агентов и сетей.

Работа рассчитана на студентов вузов, аспирантов и специалистов по информационным технологиям и моделированию сложных систем и процессов.

ББК 65.200-2с

Утверждено к печати Редакционным советом ИПУ РАН

Рецензенты:

Г.Н. Калянов - доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией ИПУ РАН, зав.кафедрой МФТИ

В.З. Магергут - доктор технических наук, профессор, зам. директора Института информационных технологий и управляющих систем Белгородского государственного технологического университета (БГТУ) им. В.Г. Шухова

© **С.А. Юдицкий**, автор, 2012

© **ИПУ РАН**, 2012

© **Ю.Л. Барон**, предисловие, 2012

© **Д.А. Губанов**, глава 5, 2012

© **ООО «НПО СИНТЕГ»**, издательство, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| Предисловие | 4 |
| Введение | 6 |
| Глава 1. Графодинамическая триадная модель агента | 14 |
| 1.1. Графодинамика триадной модели | 14 |
| 1.2. Временной анализ модели агента | 24 |
| 1.3. Расширение триадной модели агента | 30 |
| Глава 2. Графодинамическая модель многоагентной модели триадной сети | 44 |
| 2.1. Взаимодействие агентов в сети | 44 |
| 2.2. Операции над графами конфигурации («графохирур- гия») | 46 |
| 2.3. Динамика процесса развития сети | 51 |
| 2.4. Моделирование циклов при развитии сети | 55 |
| Глава 3. Алгебраическая модель многоагентной триадной сети . | 60 |
| 3.1. Язык слогов | 60 |
| 3.2. Операции над слогами | 61 |
| Глава 4. Примеры моделирования многоагентных триадных се- тей | 65 |
| 4.1. Балансировка ролевых процессов в организационных системах | 65 |
| 4.2. Функционирование сложного технического объекта | 73 |
| 4.3. Бинарные игры при ликвидации чрезвычайных ситуа- ций | 78 |
| 4.4. Триадная модель Программы развития МГУ им. Ломо- носова до 2020 года | 85 |
| Глава 5. Концепция построения программных средств имитаци- онного моделирования многоагентных триадных сетей | 93 |
| 5.1. Требования к системе имитационного моделирования .. | 94 |
| 5.2. Концепция системы имитационного моделирования | 95 |
| Литература | 99 |
| Об авторе | 104 |
| Выходные данные | 105 |
| Книги издательства СИНТЕГ | 106 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая книга представляет собой развитие и обобщение исследований по так называемым «триадным» моделям, имеющим более чем 15-летнюю историю и впервые рассмотренным на заседаниях проводившегося под руководством С.А. Юдицкого общемосковского семинара по логическому моделированию.

Сквозная идея триадного моделирования заключается в сочетании принципов распределенности и интегрированности, в выдвижении и формализованном выстраивании отдельных, качественно различных уровней модельного описания системы – и в их дальнейшей формализованной же интеграции.

Как известно, модели представляют собой в конечном счете способ фиксации знаний об исследуемом предмете, и именно с этих позиций следует прежде всего рассматривать предлагаемый автором подход – тем более, что он ориентирован скорее не на «промышленное», а на исследовательское, аналитическое применение. В этом смысле представленный в книге методический и модельный инструментарий может быть интерпретирован как средство получения развернутых, опирающихся на экспертные знания аналитических «высказываний» об исследуемой системе – естественно, сопровождающихся необходимыми количественными оценками.

Какие же элементы знаний об анализируемой системе могут быть зафиксированы и формально представлены с помощью предлагаемого подхода? Это:

- сетевая структура (конфигурация) системы, состоящей из автономных функциональных единиц (агентов);
- структура целей, действий и показателей функционирования каждого агента;
- взаимосвязь указанных характеристик и их привязка (в том числе функциональная) ко времени;
- последовательно детализируемые («линейно развертываемые») уровни иерархии системы;
- характеристики цикличности развития системы;

- логическая структура поведения системы (задаваемая с помощью продукционных формализмов и формализмов алгебры индикаторных логических формул);
- структура диалога с Системным архитектором (Лицом, Проводящим Моделирование - ЛПМ).

Уже из представленного обобщенного перечня ясно, что выразительные возможности предлагаемого «языка» моделирования потенциально являются достаточно богатыми. Для использования указанных возможностей автором разработан целый ряд специальных инструментов – единый дискретно-событийный аппарат, формализм структурного линейного описания графов, способ оценки интегрального коэффициента жизнеспособности системы и ряд других.

Ввиду того, что практическое применение разработанных методов и моделей может быть осуществлено лишь при условии их развитой компьютерной поддержки, в работе предлагается концепция построения программных средств имитационного моделирования многоагентных триадных сетей.

В целом, по нашему мнению, предложен целостный, поддерживаемый необходимыми формализмами методический и модельный инструментарий, позволяющий исследователю последовательно углублять и фиксировать знания и представления о целевых, структурных, динамических характеристиках функционирования сетевых структур, возможных сценариях и результатах поведения соответствующих систем.

Такие задачи, разумеется, могут иметь не только чисто исследовательское, но и прикладное значение. В частности, в энергетическом секторе - применительно к построению «Дорожных карт», укрупненной сопоставительной оценке стратегий, сценариев и прогнозов энергетического развития.

Кандидат технических наук, зам. директора департамента
Минэнерго России **Ю.Л. Барон**

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в развитых странах наблюдается всё возрастающее применение в различных предметных областях сетевых структур и рост интереса к сетевым моделям в управлении. Резко вырос поток публикаций по этой тематике, в том числе на русском языке. Опубликованы работы по общим вопросам математики сетей [6,8,18], по сетевым методам принятия решений [7, 19, 26], по теории социальных сетей [12], сетецентрическому управлению в многоагентных системах [4, 11, 15, 29, 38], рассмотрены многочисленные примеры технологических сетей (в газо- и нефте-транспортных системах, электроэнергетике, компьютерных сетях и т.д.).

Сетевая структура определяется как множество автономных функциональных единиц, называемых агентами, которые могут вступать во взаимодействия друг с другом. Схему сетевой структуры принято именовать конфигурацией. Эффективность управления поведением сетевой структуры во многом определяется предварительным имитационным моделированием, в ходе которого определяются временные и ресурсные характеристики системы, конфликтные ситуации, «узкие места» и т.д. Целью моделирования является также прогнозирование процессов развития сетевой структуры с определением её возможных конфигураций и динамики их преобразования. Модель развития («видение будущего») должна работать на дискретной временной шкале и учитывать не только ожидаемые, но и неожиданные (маловероятные) внешние события. Проблема формального описания и моделирования процессов развития сетевых структур проработана еще в недостаточной мере, одной из попыток продвижения на пути к ее решению следует считать и данную работу.¹ Дадим несколько предварительных пояснений, способствующих пониманию концепции книги.

1. *Агент* характеризуется следующими тремя взаимосвязанными факторами: *целями, действиями, показателями*. Цели диктуются назначением агента и его ролью в сети, а также внутренними

¹В работе исследуются многоагентные триадные сети. Термин «сеть» в тексте книги по умолчанию следует понимать именно в этом смысле.

«ценностями и убеждениями» агента (его «интеллектом»). Действия направлены на достижение целей и выражают поведение агента. Последовательность действий зависит от внутренней и внешней ситуации – состояния и информированности агента, воздействий на него от других агентов, внешней среды и т.д. Показатели отображают ключевые параметры агента (и в этом смысле определяют его информированность), данные о значениях показателей могут быть доступны другим агентам. Состав и структура агента определяется множествами целей, действий, показателей; связями (отношениями) на этих множествах и связями между элементами разных множеств. Модель агента с указанными выше свойствами названа триадной [38,49], а модель сетевой структуры на базе таких агентов – много-агентной триадной сетью.

2. *Графодинамическая триадная модель агента* состоит из связанных между собой двудольных ориентированных графов², позиции которых сопоставлены соответственно целям, действиям и показателям. Позиции графа целей и графа действий описываются булевыми переменными (принимающими значения 0 и 1), графа *показателей* – арифметическими переменными, принимающими числовые значения в заданном диапазоне. Переходы в графах триадной модели агента интерпретируются следующим образом:

- для графа целей как событие «достижение выходных целей перехода вследствие достижения его входных целей», тип переходов имеет код $m:n$, где $m \geq 1, n \geq 1$ – соответственно число входных и выходных дуг перехода;
- для графа действий как событие «завершение входных действий перехода синхронизировано с началом его выходных действий», код переходов $m:n$;
- для графа показателей как событие «изменение значения входного показателя перехода инициирует изменение подмножества его выходных показателей», код переходов $1:n$.

Триадная модель агента определена на дискретной временной шкале с равными промежутками-тактами между заданными момен-

² Двудольный граф содержит вершины только двух типов – позиции и переходы, где смежными могут быть лишь вершины разного типа. Далее термин «граф» используется как синоним двудольного ориентированного графа. На таких графах базируется широко известная динамическая модель – сеть Петри [16,22,36]. Предложенная в книге модель может интерпретироваться как расширение сетей Петри.

тами наблюдения $\tau = 0, 1, \dots, N$. Предполагается, что любое событие в модели (внешнее воздействие, достижение целей, инициирование и завершение действий, «скачкообразное» изменение показателей) происходит только в моменты τ , которые сопоставляются с переходами на графе действий. В этом смысле дискретная триадная модель является несколько «загрубленной». В реальных сетях события могут происходить и внутри тактов, что требует некоторой коррекции модели.

3. *Временной анализ агента выполняется на основе непрерывно-дискретной модели*, в которой действия отображаются на дискретной временной шкале, а показатели на непрерывной [35]. Зависимость показателей от времени с учетом их взаимовлияния описывается многочленными функциями с областью определения на числовой оси. Переходы графа действий срабатывают в граничные моменты между тактами при совпадении трех условий: истечения заданной задержки от момента активирования перехода; наступления внутреннего события на временном интервале, определяемом многочленными функциями и логикой отношений на множестве показателей; наступления внешнего события на этом же интервале. Таким образом проверяется результативность внешнего события – его влияние (или невлияние) на поведение агента.

4. *Однородность и многоуровневость как расширение триадной структуры агента* [42]. В первой версии триадной структуры управление изменением целей и действий являлось «дискретно-событийным» (выполнялось скачкообразно в моменты наступления определенных событий), а управление изменением показателей в соответствии с традициями когнитивного моделирования [25] – «псевдонепрерывным» (управляющие воздействия подаются в каждый момент на горизонте моделирования и зависят от приращения входных показателей переходов графа в предыдущий момент). Такая модель является неоднородной, т.к. для графов целей и действий с одной стороны, и для графов показателей, с другой стороны, применяется разный понятийный и формальный аппарат. В книге вводится однородная триадная структура на основе единого дискретно-событийного аппарата.

Агенты реальных сетей могут отличаться большой сложностью – состоять из сотен (и даже тысяч) компонентов, что затрудняет построение модели и ее анализ. Для преодоления барьера сложности традиционно используют иерархическое описание, в частности, на

основе стандартов IDEF [21]: описание нижестоящего уровня является детализацией («разверткой») некоторого элемента описания вышестоящего уровня. Недостатком такого подхода является трудность восприятия человеком «картины в целом». В книге предложено расширение триадной структуры агента, заключающееся в ее многоуровневом линейном представлении с нисходящим расширением и уточнением знаний. Модель строится по «принципу линейки», где графы целей, действий и показателей нижестоящего уровня являются развертками соответствующих графов вышестоящего уровня, т.е. каждый уровень отображает всю систему.

5. *Модель конфигурации сети* определяется графом, позиции которого соответствуют агентам, а переходы – взаимодействиям между агентами. Взаимодействие заключается в том, что агент-отправитель, соответствующий входной позиции перехода графа конфигурации, передает некоторый ресурс агентам-получателям (выходным позициям перехода). Если ресурс является материальным или финансовым, то его запас у отправителя при взаимодействии уменьшается на соответствующую величину; если информационным, то база данных отправителя не изменяется. Код переходов графа конфигурации 1:n. Пример графа конфигурации дан на рис.1, где ГЦ, ГД, ГП - графы целей, действий, показателей агентов, В1, В2, В3 – взаимодействия между агентами.

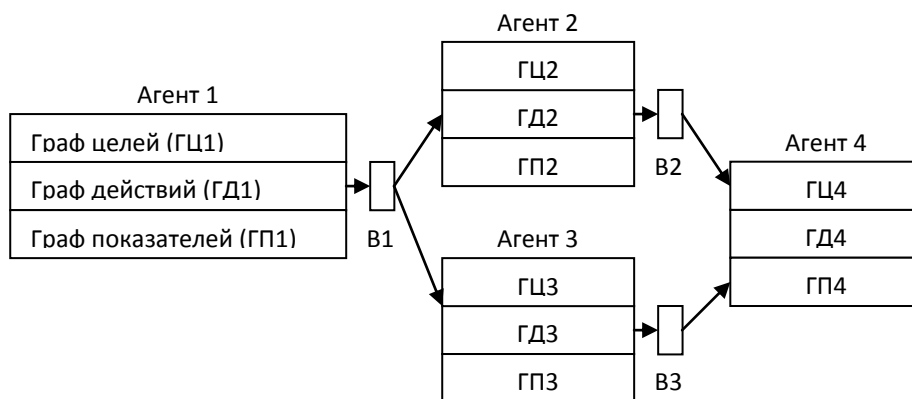


Рис. 1. Граф конфигурации сети

6. *Динамика развития сети на заданном временном горизонте моделирования* [41]. Сеть S отображается двухуровневой структурой, где верхний уровень образован графом конфигурации, нижний уровень – триадными моделями агентов. На горизонте моделирования выделяются моменты времени, в которые происходит преобра-

зование графов модели сети, в общем случае на обоих ее уровнях (точки бифуркации). Преобразование осуществляется на основе базовой операции «Замещение фрагмента графа», описание которой будет дано ниже (глава 2). Имитационное моделирование процесса развития сети реализуется в форме диалога введенной модели с Системным архитектором (Лицом, Проводящим Моделирование - ЛПМ) согласно схеме, представленной на рис. 2. На каждом временном интервале, следующим за моментом преобразования сети, ЛПМ контролирует функционирование модели и фиксирует полученные данные: о достижении (или недостижении за нормативное время) целей, о тенденциях изменения показателей, о месте и времени нарушений, например, выходе показателей за допустимые пределы, об установлении в сети непредусмотренных циклов и т.д. ЛПМ анализирует эти данные и принимает решение о моменте следующего изменения модели и необходимых преобразованиях графов. Далее процедура повторяется для следующей точки бифуркации и т.д. Результатом имитационного моделирования сети S на горизонте $[0, N]$ является цепочка моделей $S(0), S(1), \dots, S(N)$, где $\tau = 0, 1, \dots, N$ – точки бифуркации на оси времени τ .

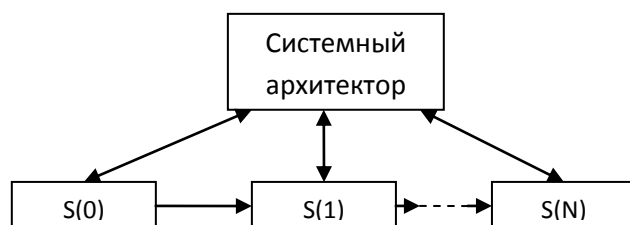


Рис. 2. Развитие многоагентной сети S на временном горизонте $[0, N]$

7. *Моделирование цикличности развития сетей* [46]. Развитие в природе происходит циклически, частным случаем цикла является чередование периодов подъема (расцвета) и спада (увядания). Аналогичное имеет место в экономике и обществе, в том числе в организационных системах (организациях), где ведущую роль играет человек (государство и его институты, бизнес-системы, общественные организации). В «организационных сетях» агенты соответствуют подразделениям, которые в период подъема могут «развертываться» - дополнительно создаваться, расширяться, дублироваться с образованием филиалов, а в период спада, наоборот, «свертываться» - с частичной или полной ликвидацией, увольнением персонала и т.д. В

условиях цикличности стабильность процессов развития возрастает при увеличении длительности циклов. Следовательно, при имитационном моделировании динамики организационных сетей оправдана постановка задачи поиска варианта развития с наиболее длинными циклами.

В предлагаемой вниманию читателя книге для формирования периодов подъема и спада организационной сети вводится интегральный коэффициент жизнеспособности организации, определяемый по графу конфигурации сети. Коэффициент принимает лингвистическо-балльные значения с фиксацией его верхней и нижней границы (лингвистические значения соответствуют словесным формулировкам типа «низкий, средний, высокий» и т.д., балльные значения представлены числами). При моделировании строится ступенчатый график изменения коэффициента жизнеспособности, где ступени соответствуют преобразованию графов конфигурации сети и/или графов агентов в точках бифуркации. Выход графика за верхнюю границу свидетельствует о завершении периода подъема (организация становится слишком сложной и плохоуправляемой), а выход за нижнюю границу интерпретируется как кризис (снижение коммуникативности и ослабление организации вплоть до прекращения ее существования). Проводятся имитационные эксперименты на моделях циклов с различными параметрами. По результатам экспериментов выбирается цикл максимальной длительности.

8. *Алгебраическое описание структуры и поведения сетей* [43]. Модель сети строится в два этапа. Вначале создается ее статическая составляющая, которая для каждого перехода задает входные и выходные позиции. Затем формируется динамическая составляющая модели путем «нагружения» переходов продуктами [23] (формулами типа ЕСЛИ \rightarrow ТО). Статическая составляющая может быть представлена как в графовой, так и в алгебраической форме, с однозначным преобразованием из одной в другую. Графовая форма из-за своей наглядности удобна для сетей малой сложности (размерности). Для сложных сетей более эффективно алгебраическое описание в виде строки, составленной из чередующихся символов позиций и переходов и пронумерованных вертикальных стрелок. Длина строки линейно зависит от сложности сети. Такое представление, названное *слогом* (Структурное Линейное Описание Графов), имеет и ряд других преимуществ: упрощает общение человека с компьютером, в частности ввод данных через клавиатуру, позволяет прово-

дить равносильные преобразования сети, сокращает время компьютерных вычислений.

Для описания динамической составляющей модели сети введен язык *индикаторных выражений*, являющийся интеграцией продукционных формализмов и формализмов алгебры *индикаторных логических формул* [37]. Язык обеспечивает:

- однообразие описания статической и динамической составляющих модели сети (принцип однородности);
- описание продукций в терминах переменных, соответствующих целям, действиям и показателям сети (принцип триадности);
- описание левой и правой части продукции (условия и оператора) на основе индикаторных логических функций;
- описание механизма взаимодействия агентов в сети путем синхронизации переходов в графах (словах) агентов и передачи ресурсов от агента к агенту.

Структура изложения материала в книге

В первой главе определена графодинамическая триадная модель агента сети. Дана общая характеристика трех основных факторов – целей, действий, показателей, и отношений между ними. Описаны переменные, используемые в модели, приведена интерпретация позиций и переходов графа агента. Рассмотрен метод временного анализа агента на основе модифицированной модели, в которой действия отображаются на дискретной шкале, а показатели на непрерывной. Метод позволяет определить результативность внешнего воздействия на агент – его влияния или невлияния на поведение агента. Предложено расширение триадной модели агента путем применения на всех трех ее уровнях дискретно-событийного механизма изменения параметров (однородность) и введения многоуровневого линейного представления модели с нисходящим развертыванием и уточнением знаний (иерархичность).

Во второй главе обсуждается графодинамическая модель многоагентной триадной сети. Дан пример графа конфигурации сети с иллюстрацией механизма взаимодействия агентов. Описана процедура имитационного моделирования процесса развития сети в форме диалога введенной модели с Системным архитектором – Лицом, проводящим моделирование. Для организационных сетей (административных систем, бизнес-систем, общественных организаций и

др.) исследована цикличность процессов развития, где цикл включает период подъема и период спада. Рассмотрен метод определения длительности этих периодов на основе анализа ступенчатого графика изменения коэффициента жизнеспособности сети. Проводятся имитационные эксперименты, по результатам которых выбирается цикл максимальной длительности. Описана базовая операция «Замещение фрагмента графа» на основе которой, а также ее частных случаев, выполняется преобразование графа конфигурации и/или графов агентов в моменты перехода к следующему такту (в точках бифуркации).

В третьей главе обсуждается алгебраическая модель много-агентной триадной сети. Введен язык слогов для описания «статистики» графа в виде строки, составленной из чередующихся символов позиций - переходов и пронумерованных вертикальных стрелок, описаны правила преобразований на слогах. Для описания графодинамики сетей введен язык индикаторных выражений, базирующийся на алгебре продукций и алгебре индикаторной логики.

В четвертой главе приведен ряд примеров моделирования реальных объектов на основе многоагентных триадных сетей.

В пятой главе изложена концепция построения программных средств имитационного моделирования, базирующихся на многоагентных триадных сетях.

Каждый раздел книги завершается *заключительными замечаниями*. Поэтому необходимость в общем заключении отпадает.

Автор признателен своим соавторам по совместным статьям, упоминаемым в книге; Ю.Л. Барону, любезно согласившемуся написать предисловие к книге; Д.А. Губанову, написавшему главу 5; М.Г. Шевцовой, помогавшей автору в освоении техники пользования компьютером.

Глава 1

ГРАФОДИНАМИЧЕСКАЯ ТРИАДНАЯ МОДЕЛЬ АГЕНТА СЕТИ

Для определения триадной модели агента, необходимо решить следующие задачи:

- сформировать состав и структуру целей, поставленных перед агентом, установить причинно-следственные связи на множестве целей (целеполагание [19,26,39]);
- задать состав и порядок выполнения действий (логическое управление [14,36,47]);
- выбрать ключевые показатели, характеризующие работу агента, определить взаимовлияния отклонений от нормы³ показателей на основе графа с помеченными дугами (когнитивный анализ, [17,20,25]);
- установить связи между целями, действиями и показателями.

Решение поставленных задач базируется на применении формального аппарата графодинамики [3] – направления в системном анализе, оперирующего переменными в форме графов и отношениями, определенными на графах.

1.1 ГРАФОДИНАМИКА ТРИАДНОЙ МОДЕЛИ

Моделирование целеполагания

На множестве целей, определяющих деятельность агента, введем отношение подчиненности «надцель–подцель», где достижение надцели является непосредственным следствием достижения подцелей (подцели детализируют надцель). Надцели, не подчиненные никакой другой цели, назовем конечными, а подцели, которым не подчинены другие цели, – начальными. Конечные цели формируются абстрактно,

³ При этом исходим из предположения: если все показатели находятся в пределах нормы (допустимого интервала значений), то их влиянием друг на друга можно пренебречь.

в общем виде. Последовательность подчиненных целей, вплоть до начальных, дает необходимые уточнения. Если конечных целей несколько, то они достигаются либо в определенной очередности, либо независимо друг от друга.

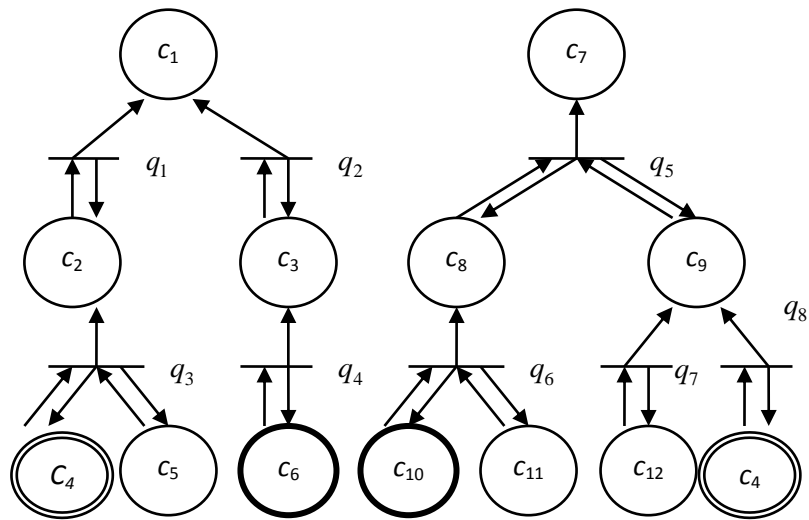
Целеполагание является предметом интеллектуальной деятельности. Психология целеполагания с акцентом на допускаемые типовые ошибки, приводящие к неудаче, описаны в [13].

Формальный аппарат целеполагания базируется на графах, позиции которых сопоставлены целям $c_i, i = 1, \dots, r$. Пример такого графа дан на рис. 3 сверху. Переходы $q_j, j = 1, \dots, s$, связывают надцель c_i с подчиненными ей подцелями, где каждая подцель соединена с переходом двумя противоположно направленными стрелками, а переход соединен с надцелью – одной стрелкой. Каждая позиция c_i либо пуста ($c_i = 0$, цель не достигнута), либо содержит один маркер ($c_i = 1$, цель достигнута). Если в позициях всех подцелей перехода q_j есть по маркеру и позиция надцели c_i пуста, то переход мгновенно срабатывает и вносит маркер в c_i , сохраняя маркирование подцелевых позиций. После этого дуга $q_j c_i$ «запирается», что исключает попадание второго маркера в позицию c_i .

Таким образом, при работе сетевой модели целеполагания маркеры продвигаются «снизу–вверх» по древовидным графам целей. При этом могут использоваться два вида отношения «надцель–подцели», при числе подцелей не менее двух: конъюнктивное и альтернативное. При конъюнктивном отношении обязательно выполнение всех подцелей, которые являются составными частями надцели. При альтернативном отношении необходимо и достаточно выполнение только одной подцели (при недетерминированном выборе этой подцели). В примере на рис. 3 конъюнктивными являются отношения: $(c_2 - c_4, c_5), (c_7 - c_8, c_9), (c_8 - c_{10}, c_{11})$, альтернативными: $(c_1 - c_2, c_3), (c_9 - c_4, c_{12})$.

Среди начальных подцелей (позиций) выделим противоречивые (изображаются жирными кружками) и совпадающие (изображаются двойными кружками). Противоречивые начальные позиции c_i, c_j находятся в отношении альтернативности, обеспечиваемом ло-

гической функцией $\alpha = \bar{c}_i \& \bar{c}_j$, выполняющей роль «арбитра». При пустых позициях c_i, c_j имеет место $\alpha = 1$, что разрешает помещение в них маркеров. Если первым маркер попадает в одну из противоречивых позиций, например $c_i = 1$, то $\alpha = 0$ и вход в c_j блокируется.



| τ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|----------|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| c_1 | | | | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_2 | | | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_3 | | | | | | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_4 | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_5 | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c_7 | | | | | | | | | | | | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_8 | | | | | | | | | | | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_9 | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_{10} | | | | | | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_{11} | | | | | | | | | | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |
| c_{12} | | | | | | | | | | | | | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// | /// |

Рис. 3 .Пример графа целей и итоговой диаграммы его моделирования

Совпадающие позиции являются экземплярами одной и той же начальной подцели. В примере на рис. 3 противоречивы позиции c_6 , c_{10} и совпадают две позиции c_4 .

Результатом моделирования целеполагания является линейный график достижения целей на заданном временном горизонте $[\tau = 0, \tau = N]$, пример которого дан на рис. 3 снизу. Интервалы горизонта, на которых цели c_i достигнуты, заштрихованы. График достижения целей строится непосредственно по графу целей.

В примере на рис. 3 в момент $\tau = 4$ достигаются (вследствие внешнего воздействия) оба экземпляра подцели c_4 . Левая подцель не влияет на свою надцель c_2 , правая вызывает в следующий момент $\tau = 5$ достижение надцели c_9 . Дальнейших переключений (без воздействия на начальные позиции) не происходит, в графе целей устанавливается равновесие. В момент $\tau = 6$ маркер заносится в начальную позицию c_5 , срабатывает переход q_3 и в момент $\tau = 7$ маркер вносится в позицию c_2 . Далее в момент $\tau = 8$ срабатывает q_1 и маркер вносится в позицию c_1 , достигнута первая конечная цель. Граф целей продолжает функционировать подобным образом. В момент $\tau = 15$ маркеры находятся в позициях c_8 , c_9 и выполняется условие $c_1 \& \bar{c}_7 = 1 \& 1 = 1$. Это приводит к срабатыванию перехода q_5 и внесению маркера в позицию c_7 . Таким образом, достигнута вторая конечная цель c_7 , причём строго после первой c_1 .

Моделирование взаимовлияния показателей

Взаимовлияние показателей деятельности агента принято моделировать «взвешенным» ориентированным графом, предложенным Ф. Робертсом⁴ [25], вершины которого соответствуют показателям, дуги (стрелки) соответствуют влияниям показателя – предшественника на показатель – последователь, причём дуга помечается «весом» – положительным или отрицательным числом, заданным экспертом.

Динамика показателей при этом определяется линейной моделью:

$$(1) \quad p_i(\tau+1) = p_i(\tau) + \sum_{k \in I_i} \omega_{ki} (p_k(\tau) - p_k(\tau-1)),$$

⁴ Другое название – когнитивная карта.

где p_i – последователь; p_k – предшественник; ω_{ki} – вес дуги $p_k p_i$; $\tau = 0, 1, \dots, N$ – дискретное время; I_i – множество номеров показателей, воздействующих на p_i , $i, k = 1, 2, \dots, n$.

Модель (1) характеризуется большой размерностью и разбросом значений показателей, что затрудняет экспертный анализ и принятие решений.

В книге предлагается несколько иная интерпретация графа взаимовлияния показателей, которую назовём функциональной когнитивной картой с бинарной пометкой дуг. Вершины p_i графа трактуются как отклонения показателей от установленной для них нормы, а дуги $p_k p_i$ соответствуют влиянию p_k на p_i и выражаются парой функций $\varphi_{ki}^+(p_k), \varphi_{ki}^-(p_k)$, отображающих преобразование соответственно положительного и отрицательного отклонения от нормы предшественника в отклонение последователя. Введение функциональных когнитивных карт, помимо уменьшения размерности модели, по сравнению с подходом (1), позволяет повысить «мощность моделирования» за счёт разнообразия «дуговых функций».

Влияние отклонения p_k на отклонение p_i в момент τ будем выражать функцией:

$$(2) \quad f_{ki}(\tau) = \begin{cases} \varphi_{ki}^+(p_k(\tau)), & \text{если } p_k(\tau) > 0, \\ \varphi_{ki}^-(p_k(\tau)), & \text{если } p_k(\tau) < 0, \\ 0, & \text{если } p_k(\tau) = 0. \end{cases}$$

Пусть в момент τ показатель p_i характеризуется множеством $X_i(\tau)$, состоящим из собственного отклонения $p_i(\tau)$, отклонений $f_{ki}(\tau)$, вычисленных для всех его предшественников p_k , $k = 1, \dots, l$, на основе (2), а также отклонения $p_i^*(\tau)$, инициированного внешним воздействием на показатель (внешнее управление отклонением показателя):

$$(3) \quad X_i(\tau) = p_i(\tau) \cup \bigcup_{k \in I_i} f_{ki}(\tau) \cup p_i^*(\tau).$$

В множестве $X_i(\tau)$ удалим все нулевые члены. В результате получим множество $\bar{X}_i(\tau)$, которое разобьём на два подмножества $\bar{X}_i^+(\tau), \bar{X}_i^-(\tau)$, содержащие соответственно все положительные и все

отрицательные отклонения показателя p_i (одно из подмножеств может быть пустым):

$$(4) \quad \bar{X}_i(\tau) = \bar{X}_i^+(\tau) \cup \bar{X}_i^-(\tau).$$

В этих подмножествах отклонение, наибольшее по абсолютной величине ($\max \bar{X}_i^+(\tau)$ и $\min \bar{X}_i^-(\tau)$) перекрывает («поглощает») все остальные отклонения, т.е. имеет место:

$$(5) \quad \bar{X}_i^+(\tau) = \max \bar{X}_i^+(\tau), \bar{X}_i^-(\tau) = \min \bar{X}_i^-(\tau).$$

Из соотношений (4), (5) следует уравнение для отклонения от нормы показателя p_i в следующий момент $\tau + 1$:

$$(6) \quad p_i(\tau+1) = \max \bar{X}_i^+(\tau) + \min \bar{X}_i^-(\tau).$$

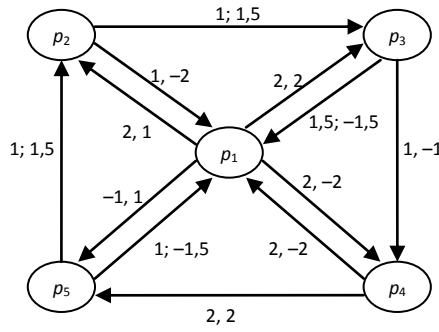
Пример функциональной когнитивной карты, в которой для простоты дуговые функции имеют вид:

$$(7) \quad \varphi_{ki}^+(p_k) = a_{ki} \times p_k, \quad \varphi_{ki}^-(p_k) = b_{ki} \times p_k,$$

где a_{ki} , b_{ki} – константы; дуги $p_k p_i$ помечены парами a_{ki} , b_{ki} , дан на рис. 4 сверху. Матрица связей когнитивной карты (бинарная пометка дуг) показана на рис. 4 снизу.

Моделирование взаимовлияния отклонений показателей производится путём построения линейной таблицы (ленты), отображающей динамику вектора отклонений $p(\tau) = \langle p_1(\tau), \dots, p_n(\tau) \rangle$ в моменты времени $\tau = 0, 1, \dots, N$. При этом последовательно применяется процедура, использующая векторный аппарат.

1. Пусть в момент τ система, характеризуемая вектором отклонений $p(\tau)$, подвергается внешнему воздействию, в результате которого скачкообразно изменяются некоторые компоненты, например $p_1(\tau = 1) = 3$, $p_3(\tau = 1) = -2$. Формируем вектор $p^*(\tau) = \langle p_1^*(\tau), \dots, p_n^*(\tau) \rangle$ внешнего управления.



Матрица связей $\|a_{ki}, b_{ki}\|$

| | p_1 | p_2 | p_3 | p_4 | p_5 |
|-------|-----------|--------|--------|-------|-------|
| p_1 | 0 | 2; 1 | 2; 2 | 2; -2 | -1; 1 |
| p_2 | 1; -2 | 0 | 1; 1,5 | 0 | 0 |
| p_3 | 1,5; -1,5 | 0 | 0 | 1; -1 | 0 |
| p_4 | 2; -2 | 0 | 0 | 0 | 2; 2 |
| p_5 | 1; -1,5 | 1; 1,5 | 0 | 0 | 0 |

Рис. 4. Пример описания взаимовлияния отклонений показателей от нормы (частный случай функциональной когнитивной карты)

2. Транспонированный вектор отклонений $p^T(\tau = 1)$ умножаем на каждый столбец матрицы связей $\|a_{ki}, b_{ki}\|$ согласно правилу (2). В результате получаем матрицу:

$$F(\tau = 1) = \begin{matrix} \left| \begin{matrix} 3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right| \times \left| \begin{matrix} 0 & 2;1 & 2;2 & 2;-2 & -1;1 \\ 1;-2 & 0 & 1;1,5 & 0 & 0 \\ 1,5;-1,5 & 0 & 0 & 1;-1 & 0 \\ 2;\dots-2 & 0 & 0 & 0 & 2;2 \\ 1;-1,5 & 1;1,5 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \right| = \left| \begin{matrix} 0 & 6 & 6 & 6 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \right| . \end{matrix}$$

3. Вводим в матрицу $F(\tau = 1)$ две дополнительные нижние строки $p(\tau = 1)$, $p^*(\tau = 1)$ (если они совпадают, как в нашем примере, то одну строку):

$$\bar{F}(\tau = 1) = \left| \begin{matrix} 0 & 6 & 6 & 6 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & -2 & 0 & 0 \end{matrix} \right|$$

$$p(\tau = 2) = \left| \begin{matrix} 3 & 6 & 4 & 6 & -3 \end{matrix} \right|$$

4. К каждому столбцу p_i матрицы $\bar{F}(\tau=1)$ применяем преобразования (4), (5), (6), в результате получаем $p_i(\tau=2)$. Вектор-столбец $p^T(\tau=2)$ вносим в ленту отклонений и далее продолжаем аналогично для последующих моментов τ .

5. Построение ленты отклонений прерываем, если выполняется по меньшей мере одно из условий:

- достигнута граница временного горизонта $[0, N]$;
- внутри горизонта установилось равновесие $p^T(\tau) = p^T(\tau+1)$;
- какие-нибудь из отклонений превысили критическую величину (например, $p_i^{\max} = 100, p_i^{\min} = -50, i = 1, \dots, 5$).

В рассмотренном примере имеет место третий случай, лента отклонений показателей от нормы:

| | | | | | | | | | |
|--------|---|--------------|----|-----|---------------|----|----|----|-----|
| τ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| p_1 | 0 | 3 | 3 | 12 | 12 | 20 | 48 | 80 | 192 |
| p_2 | 0 | 0 | 6 | 1,5 | 10 | 24 | 22 | 96 | 96 |
| p_3 | 0 | -2 | 4 | 6 | 10 | 24 | 40 | 96 | 160 |
| p_4 | 0 | 0 | 6 | 6 | 10 | 24 | 40 | 96 | 160 |
| p_5 | 0 | 0 | -3 | 9 | 0 | 8 | 28 | 32 | 112 |
| | | ↑ | | | ↑ | | | | |
| | | $p_1^* = 3$ | | | $p_2^* = -14$ | | | | |
| | | $p_3^* = -2$ | | | $p_3^* = -14$ | | | | |
| | | | | | $p_4^* = -14$ | | | | |

Моделирование логического управления последовательностью действий

Для моделирования порядка выполнения действий и обусловленного этим порядком логического управления агентами применяются графы действий, называемые также графами операций [36].

Пример графа действий дан на рис. 5.

В любой позиции d_i находится один маркер, если соответствующее действие выполняется, и позиция пуста, если не выполняется. Переход t_j срабатывает мгновенно, если во всех его входных позициях есть по маркеру и, кроме того, выполняется соотнесенное переходу внешнее условие v_k , и с момента активирования перехода прошло не более заданного числа единиц модельного времени.

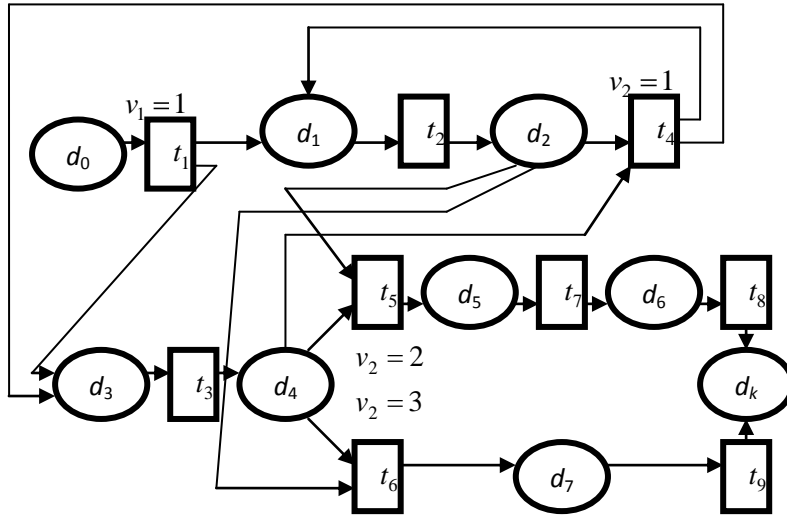


Рис. 5. Пример графа действий

В результате срабатывания перехода из всех его входных позиций удаляются, а во все выходные позиции вносятся маркеры. Результаты моделирования поведения агента на основе триадной структуры выражаются итоговой диаграммой, представленной на рис 6.

В верхней строке диаграммы указаны моменты времени, образующие горизонт моделирования. В следующей строке проставлены соотнесенные определенному моменту переходы графа действий, в которые происходит смена действий, достижение целей, изменение величины отклонений показателей. В верхнем ярусе диаграммы даны линейные графики булевых переменных, сопоставленных действиям (d_0 , d_k – начальное и конечное «пустые» действия, обозначающие подготовленность к моделированию и его завершение). В среднем ярусе представлены линейные графики достижения целей, в нижнем дана таблица значений отклонений показателей от нормы. Вертикальная жирная линия разделяет допустимый и недопустимый интервалы горизонта моделирования.

Итог моделирования поведения агента: при заданной триадной структуре полностью выполняются действия d_1 , d_3 и лишь частично d_2 , d_4 ; достигаются цели c_1 , c_2 , c_4 , c_5 , c_9 ; в момент $\tau = 8$ отклонения показателей p_1 , p_3 , p_4 , p_5 выходят за критическую отметку $p_i^{\max} = 100$, а отклонение p_2 вплотную приблизилось к ней. Поэтому в момент $\tau = 8$ эксперимент прекращаем.

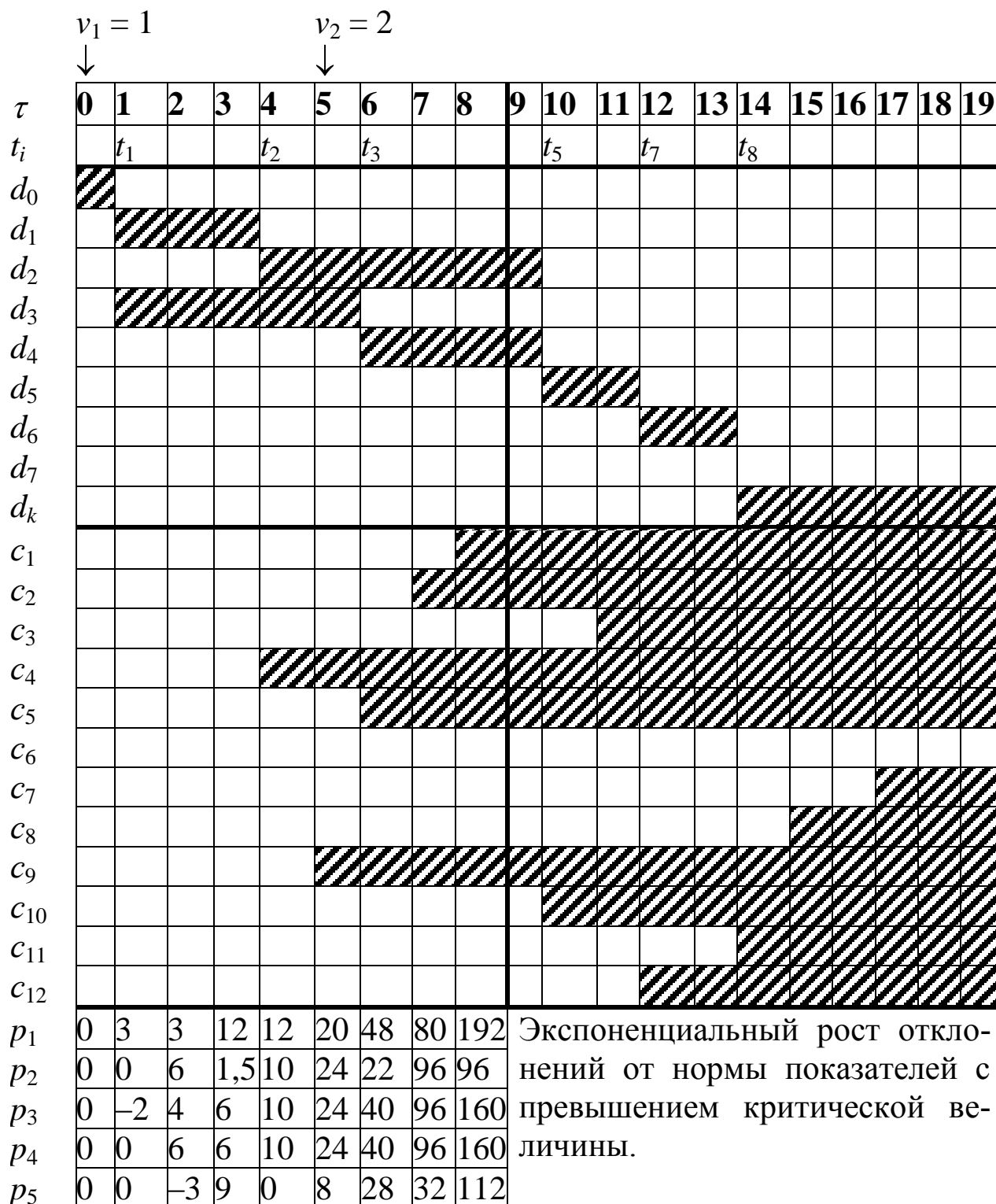


Рис 6. Итоговая диаграмма моделирования поведения агента с триадной структурой

Заключительные замечания

1. Триадное моделирование (анализ) может быть применено как для реальных, так и для виртуальных агентов, причем второе имеет место при проектировании, стратегическом планировании, прогнозировании. Виртуальный анализ выполняется на моделях, при этом ничего не может «взорваться, сгореть, утонуть».
2. Первичная триадная модель агента и все ее изменения производятся экспертами, обладающими достаточными знаниями и опытом в данной предметной области.
3. При анализе агента повторяется цикл «построение триадной модели – проведение имитационных экспериментов – оценка результатов – коррекция модели, трактуемая как акт управления проектом».
4. Простейшей формой коррекции является изменение значений числовых параметров графов триадной модели агента. Более радикальная форма коррекции связана с изменением логических условий срабатывания переходов графов и изменением структуры графов, т.е. состава элементов и связей между ними.

1.2. ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ АГЕНТА

Моделирование динамики показателей

Пусть процесс, реализуемый в системе, характеризуется показателями p_i , $i = 1, \dots, n$. Каждому показателю поставим в соответствие «собственную» переменную x_i , являющуюся функцией непрерывного времени τ :

$$(8) \quad x_i(\tau) = a_{i0} + a_{i1}\tau + \dots + a_{ik}\tau^k,$$

где a_{il} – константы, $l = 0, 1, \dots, k$.

С течением времени все показатели изменяются параллельно, причем на p_i могут влиять другие показатели p_j , $j = 1, \dots, n$, $i \neq j$:

$$(9) \quad p_i(\tau) = x_i(\tau) + \sum_j b_{ji} \times x_j(\tau),$$

b_{ji} – коэффициент, определяющий влияние p_j на p_i . Значения a_{il} , b_{ji} могут быть как положительными, так и отрицательными.

В графе показателей вершины соответствуют показателям p_i , дуги $p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in}$, «нагруженные» коэффициентами $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}$, соответствуют влиянию p_{i1} на p_i .

Пример графа показателей дан на рис. 7 (для простоты изображения вершины-переходы в нем опущены).

Примем, что все собственные функции согласно (8) являются линейными ($k = 1$) и в примере имеет место:

$$(10) \quad \begin{aligned} x_1(\tau) &= 2 + 0,5\tau, \\ x_2(\tau) &= 2 - 0,5\tau, \\ x_3(\tau) &= 3 + 0,3\tau. \end{aligned}$$

Применив к графу на рис 7 соотношения (9), (10), получим:

$$(11) \quad \begin{aligned} p_1(\tau) &= 2 + 0,5\tau + 0,2(-0,5\tau) = 2,4 + 0,4\tau, \\ p_2(\tau) &= 2 - 0,5\tau + 0,1(0,5\tau) = 2,2 - 0,45\tau, \\ p_3(\tau) &= 3 + 0,3\tau - 0,1(0,5\tau) + 0,1(-0,5\tau) = 3 + 0,2\tau. \end{aligned}$$

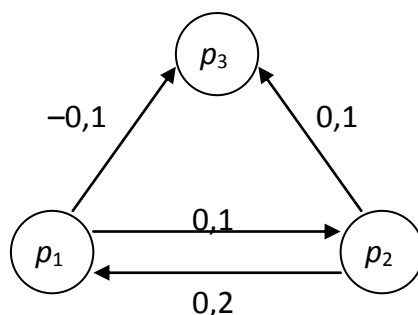


Рис. 7. Пример помеченного графа показателей (когнитивной карты)

Моделирование динамики действий

Прежде чем определить граф действий, напомним основные положения индикаторной логики [37], являющейся подклассом булевой алгебры. Индикатором сравнения называется булева переменная вида $(p_i \# q)$, где p_i – числовая переменная, q – числовая

переменная или константа, $\# \in \{=, \neq, >, \geq, <, \leq\}$ – знак бинарного отношения.

Индикатор $(p_i \# q)$ принимает значение:

$$(p \# q) = \begin{cases} 1, & \text{если выполняется отношение } \#, \\ 0, & \text{если не выполняется.} \end{cases}$$

Индикаторной логической формулой (ИЛФ) называется выражение, полученное путем применения конечное число раз к индикаторам сравнения логических операций дизъюнкции, конъюнкции, отрицания ($\&$, \vee , \neg). Над ИЛФ выполняются эквивалентные преобразования на основе классических тождеств (приведены, например, в [9, 10]) и дополнительных соотношений согласно таблице 1 (буква e означает константу).

Вернемся к графу действий. На рис.8 дан пример графа, для которого логические условия срабатывания переходов приведены в таблице 2. Позиции d_i , $i = 1, \dots, m$, графа соответствуют действиям, переходы t_j , $j = 1, \dots, g$, – событиям, характеризующим запуском и/или завершением действий. Выполнение действия моделируется нахождением маркера в соответствующей позиции. Переход активирован, если во всех его входных позициях есть по маркеру, и срабатывает, если он активирован, и, кроме того, выполняется соотнесенное переходу логическое условие (см. таблицу 2). При срабатывании перехода из его входных позиций удаляются маркеры, а в выходные позиции маркеры вносятся.

Логическое условие перехода t_j представляет собой конъюнкцию трех ИЛФ:

- задержки от момента активирования перехода t_j до некоторого заданного момента, выражаемой индикатором $(\theta_j = e_j)$, где e_j – число единиц непрерывного времени;
- внешнего события $(v_\omega = e_\omega)$, соответствующего воздействию среды на моделируемую систему;
- внутреннего события, определяемого значениями показателей системы.

Все три составляющие логического условия перехода задаются экспертом.

Табл. 1. Эквивалентные преобразования над ИЛФ

| Наименование | Формальное описание |
|--------------|--|
| Поглощение | $(p > e_1) \& (p > e_2) = (p > \max(e_1, e_2))$ $(p < e_1) \& (p < e_2) = (p < \min(e_1, e_2))$ $(p > e_1) \vee (p > e_2) = (p > \min(e_1, e_2))$ $(p < e_1) \vee (p < e_2) = (p < \max(e_1, e_2))$ |
| Дополнение | $(p \geq e) \& (p < e) = 0$ $(p > e) \& (p \leq e) = 0$ $(p \geq e) \vee (p < e) = 1$ $(p > e) \vee (p \leq e) = 1$ |
| Отрицание | $(p > e) = (p \leq e)$ $\overline{(p \geq e)} = (p < e)$ $\overline{(p < e)} = (p \geq e)$ $\overline{(p \leq e)} = (p > e)$ |

Табл. 2. Логические условия срабатывания переходов

| Переход | Задержка | Внешнее событие | Внутреннее событие в виде ИЛФ |
|---------|----------------|-----------------|--|
| t_1 | $\theta_1 = 2$ | $v_1 = 1$ | $(p_1 < 2) \& (p_2 = 0) \& (p_3 = 0)$ |
| t_2 | $\theta_2 = 1$ | – | $(p_1 \geq 2) \& (p_1 < 3) \& ((p_2 > 0) \vee (p_3 > 0))$ |
| t_3 | $\theta_3 = 1$ | – | $(p_1 \geq 2) \& (p_1 < 3) \& (p_2 > 0) \& (p_3 > 0)$ |
| t_4 | $\theta_4 = 2$ | $v_2 = 1$ | $(p_1 \geq 3) \& (p_1 < 4) \& (p_2 > 1) \& (p_3 > 1)$ |
| t_5 | $\theta_5 = 2$ | $v_2 = 2$ | $(p_1 \geq 3) \& (p_1 < 4) \& (((p_2 \geq 3) \& (p_2 < 5)) \vee (p_3 > 2))$ |
| t_6 | $\theta_6 = 2$ | $v_2 = 3$ | $(p_1 \geq 3) \& (p_1 < 4) \& (p_2 \geq 3) \& (p_2 < 5) \& (p_3 > 2)$ |
| t_7 | $\theta_7 = 1$ | – | $(p_1 \geq 4) \& (p_1 < 6) \& (((p_2 \geq 5) \& (p_2 < 7)) \vee \vee (p_3 > 4))$ |
| t_8 | $\theta_8 = 1$ | – | $(p_1 \geq 6) \& (p_1 < 9) \& (p_2 \geq 7) \& (p_2 \leq 10) \& (p_3 > 8) \& (p_3 \leq 10)$ |
| t_9 | $\theta_9 = 1$ | – | $(p_1 \geq 6) \& (p_1 \leq 10) \& (p_2 \geq 5) \& (p_2 \leq 10) \& (p_3 > 5) \& (p_3 \leq 10)$ |

При работе графа действий применяется следующий механизм. Каждому переходу t_j соотносится условный счетчик времени (таймер) θ_j , который настраивается на число e_j . Таймер запускается при активировании t_j и останавливается при достижении e_j . С этого момента граф «ожидает» наступления внешнего и внутреннего события. При наступлении того и другого срабатывает переход t_j и «обнуляется» таймер.

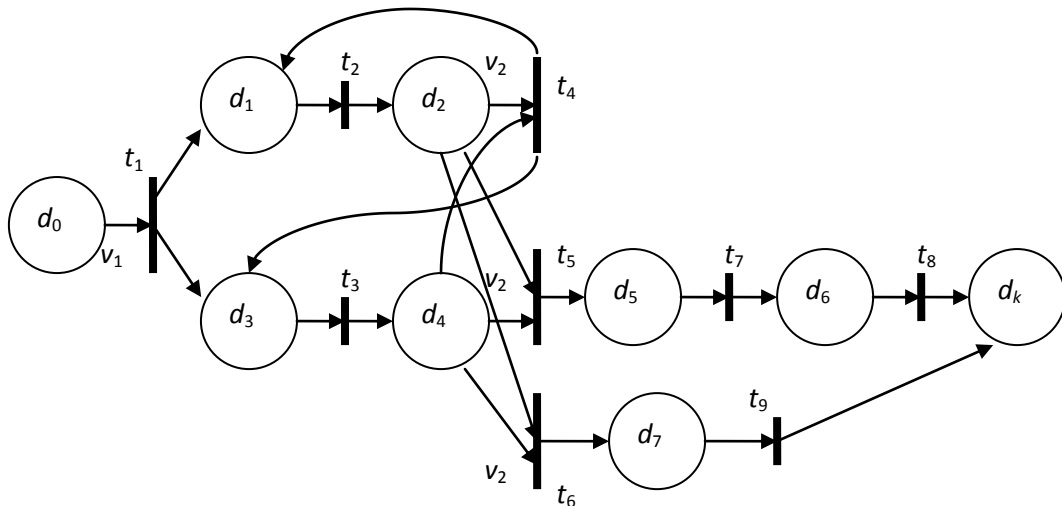


Рис. 8. Пример графа действий

Момент наступления внешнего события непредсказуем, момент наступления внутреннего события рассчитывается по процедуре, описанной ниже.

Временной анализ условий срабатывания переходов на графе действий

Пусть задан интервал моделирования системы как участок оси τ , на котором выделим единицы времени $\tau = 0, \dots, N$. Для каждого внутреннего события (таблица 2) определим отрезок внутри этого интервала, характеризующий продолжительность события.

Применим процедуру:

1. В ИЛФ внутреннего события вместо показателей p_i подставим их выражение в виде многочлена (11).

2. Для каждого индикатора формулы решим неравенство (или уравнение) относительно τ и представим это решение отрезком (точкой) на интервале моделирования.
3. В соответствии с порядком логических операций $\&$, \vee , \neg , зафиксированном в ИЛФ, выполним соответствующие им теоретико-множественные операции над отрезками – пересечение \cap , объединение \cup , дополнение \setminus .

Проиллюстрируем описанную процедуру на примере ИЛФ = $(p_1 \geq 3) \& (p_1 < 4) \& (((p_2 \geq 3) \& (p_2 < 5)) \vee (p_3 > 2))$ для перехода t_5 .

После шага 1 получим:

$$(12) \quad ((2,4 + 0,4\tau) \geq 3) \& ((2,4 + 0,4\tau) < 4) \& (((2,2 - 0,45\tau) \geq 3) \& ((2,2 - 0,45\tau) < 5)) \vee ((3 + 0,2\tau) > 2).$$

Решив линейные неравенства во внутренних скобках, придем к выражению:

$$(13) \quad (\tau \geq 1,5) \& (\tau < 4) \& (((\tau \leq -1,8) \& (\tau > -6,2)) \vee (\tau > -5)).$$

Перейдем к графическому представлению на временной шкале (рис. 9).

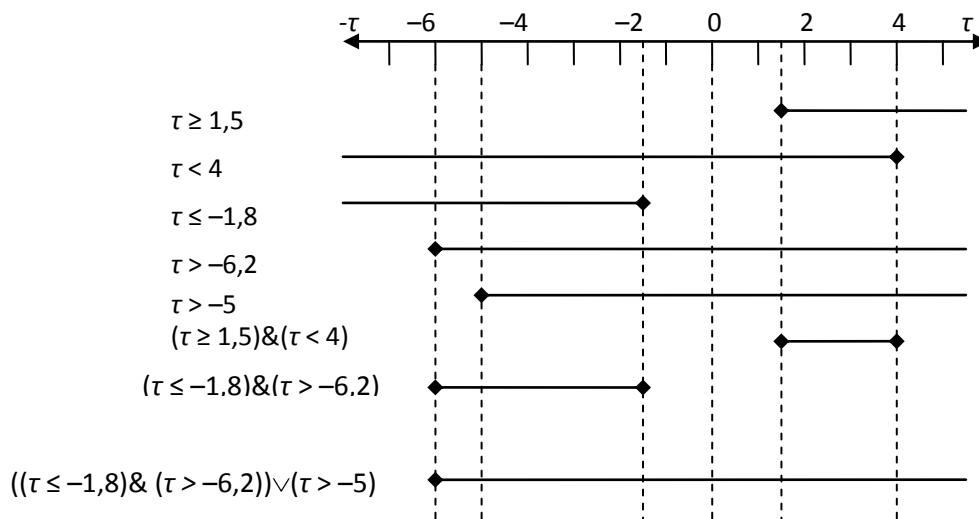


Рис. 9. Временная диаграмма ИЛФ внутреннего события

Здесь отрицательные моменты соответствуют «прошлому», т.е. времени $-\tau$ до начала моделирования. Из диаграммы на рис. 9

следует, что при принятых нами параметрах модели (рис. 8, таблица 2) срабатывание перехода t_5 графа действий возможно, если еще до начала имитационного эксперимента показатели системы будут удовлетворять условию, указанному в таблице 2. Если это неприемлемо, то следует изменить индикаторные логические формулы для внутренних событий.

Заключительные замечания

1. Предложена комплексная модель развития сетей, согласно которой динамика показателей моделируется в непрерывном времени, а динамика действий – в дискретном. Это позволяет повысить уровень адекватности модели реальным большим системам.

2. Усовершенствован механизм функционирования графа действий путем использования трех составляющих логического условия срабатывания переходов графа – временной задержки, внешнего и внутреннего события.

3. Предлагается графический метод временного анализа динамики модели, который, в частности, позволяет:

- определять на интервале моделирования отрезки времени, на которых наступление внешнего события может повлиять на срабатывание перехода графа действий;
- учитывать внутренние события, которые не только происходят на интервале моделирования, но и происходили «в прошлом» – до проведения имитационного эксперимента.

1.3 РАСШИРЕНИЕ ТРИАДНОЙ МОДЕЛИ АГЕНТА

Во взаимодействии параметров графов триадной структуры агента принимает участие n позиций, $n \geq 2$, множество которых состоит из подмножества входных и подмножества выходных позиций. Взаимодействие моделируется n -арным отношением на множестве позиций (с переменным n) и сопровождается изменением значений позиций графа. Взаимодействия происходят мгновенно в моменты $\tau = 0, 1, 2, \dots, N$, принадлежащие горизонту моделирования на дискретной временной шкале.

Будем различать два альтернативных механизма выполнения взаимодействий – дискретно-событийный и «псевдонепрерывный».

При дискретно-событийном варианте имеет место следующее: если в момент τ наступает определенное событие - выполняется за-

данное логическое условие над входными позициями данного и, возможно, над позициями двух других графов триадной структуры, то в момент $\tau+1$ происходит изменение значений выходных позиций этого взаимодействия. Другими словами, взаимодействие реализуется только в обусловленные моменты на горизонте моделирования.

При псевдонерывном варианте, базирующемся на применении традиционных когнитивных карт [25], взаимодействия определяются бинарными отношениями на множестве позиций, и в каждый момент $\tau+1$ горизонта моделирования каждая выходная позиция взаимодействия получает приращение (положительное или отрицательное), зависящее от приращения соответствующей ей входной позиции при переходе от момента $\tau-1$ к моменту τ . Приращения в момент $\tau+1$ алгебраически суммируются по всем взаимодействиям.

Отметим, что в опубликованных ранее статьях автора, посвященных триадной структуре [31-35, 38, 40, 41, 49], графы целей и действий реализуют дискретно-событийные взаимодействия, а граф показателей – псевдонерывные, что можно отчасти объяснить традицией, установившейся в когнитивном моделировании. Реально же это делает модель неоднородной и тем самым усложняет ее, суживает область применения модели (отношение на множестве показателей может быть небинарным). Важным стимулом для модернизации триадной структуры является применение единого формального аппарата для всех трех ее компонентов (цели, действия, показатели).

Реальные системы, моделируемые на основе триадной структуры, могут отличаться большим числом параметров и связей между ними. Это приводит к громоздким и труднообозримым моделям. Для преодоления «барьера сложности» построение и анализ большой триадной модели производят по уровням (сверху вниз), где каждый уровень имеет ограничения по числу параметров и связей. Смежные i -й и $i+1$ -й уровни, $i = 1, 2, \dots, m$, согласуются между собой.

При традиционном многоуровневом моделировании на основе стандартов IDEF [21] диаграмма $i+1$ -го уровня является детализацией (конкретизацией) некоторого элемента на диаграмме i -го уровня. При этом единая модель системы «рассыпается» на части, образуя структуру типа дерева. Нарушается целостность модели, что создает неудобства при системном анализе. В предлагаемом в книге расши-

рени применено целостное многоуровневое моделирование агентов на основе триадной структуры, где каждый уровень содержит знания о всей системе, но с переходом от уровня к уровню эти знания уточняются и расширяются.

Далее в разделе 1.3 на примере рассмотрены принципы построения однородной триадной структуры и принципы целостного многоуровневого моделирования агентов.

Однородная триадная структура

Базовая схема взаимодействия графов триадной структуры показана на рис. 10, где стрелки с пометками c , d , p отображают влияние каждого из трех графов на два остальных, а стрелки с пометкой v соответствуют внешним воздействиям.

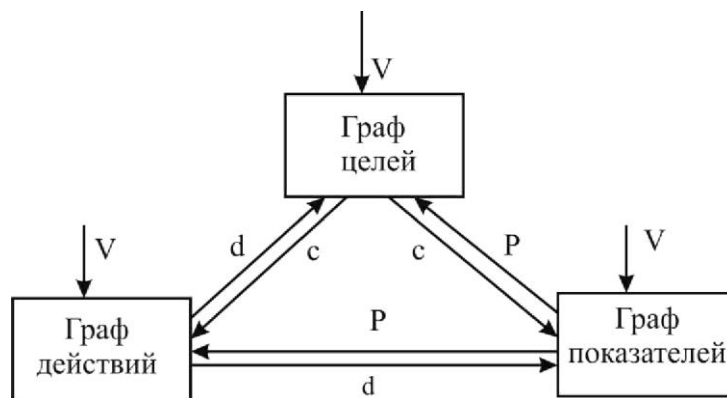


Рис. 10. Базовая схема взаимодействия графов триадной структуры

Пример конкретизации компонентов базовой схемы дан на рис.11 (пара дуг, соединяющая в графе целей позицию и переход в направлении «туда и обратно», изображена одной стрелкой с двумя концами). Триада графов отображает статику (структуру) модели агента, а аналитические выражения (формулы), помечающие переходы графов – ее динамику (поведение).

Формулы для переходов графов в виде упоминавшихся во введении индикаторных выражений следуют из рекуррентных уравнений динамики агента:

$$(14) \quad S(\tau+1) = F(S(\tau), V(\tau)),$$

где $\tau = 0, 1, \dots, N$ – дискретное время, S, V – соответственно состояние агента и внешнее воздействие на него, F – функциональное пре-

образование. Соотношение (14) выражается продукцией «ЕСЛИ (ИЛФ₁ = 1) → ТО (ИЛФ₂ = 1)» (напомним: ИЛФ – индикаторная логическая формула). Входные дуги перехода исходят из позиций, сопоставленных переменным ИЛФ₁, а его выходные дуги заходят в позиции, сопоставленные переменным ИЛФ₂.

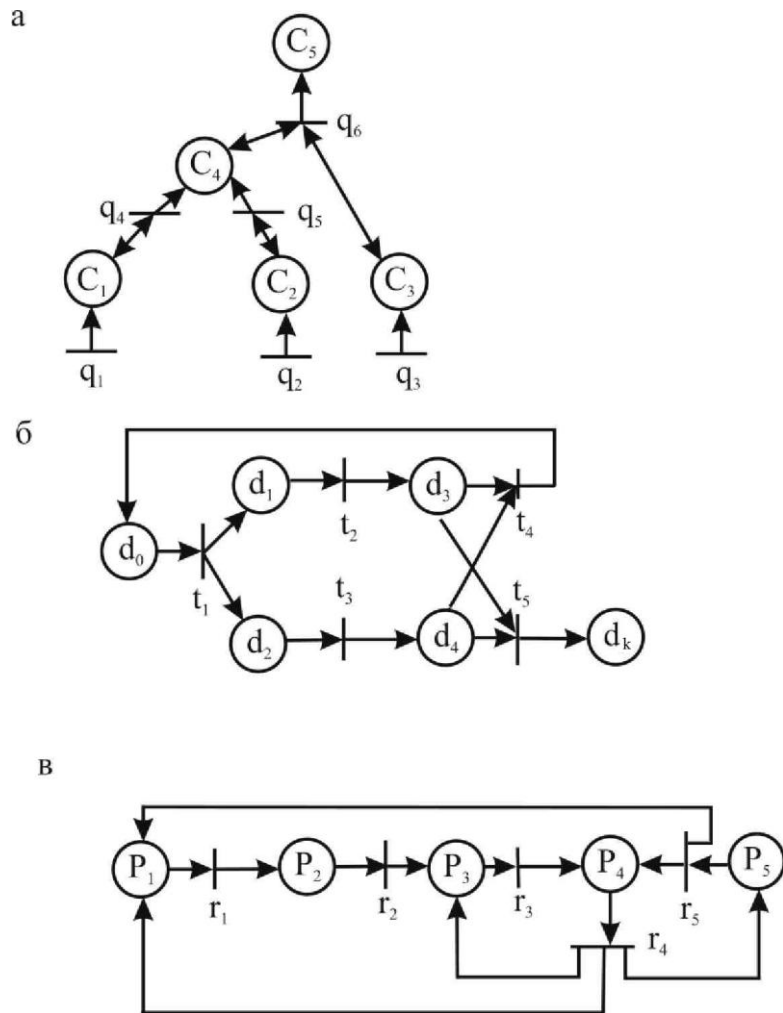


Рис 11. Графовая основа триадной структуры: а – граф целей, б – граф действий, в – граф показателей.

Динамика структуры на рис. 11 определяется выражениями $\Phi(q_i)$, $F(t_i)$, $\Pi(p_i)$ продукций для переходов соответственно графов целей, действий, показателей. По умолчанию значения переменных в левой части продукции (условии) относятся к моменту τ , а в правой части (операторе) – к моменту $\tau+1$. В правой части продукции для переходов графа показателей присутствуют моменты τ и $\tau+1$, которые указываются в скобках справа от символов p_i . Показатели p_i

оцениваются, например, по десятибалльной шкале согласно следующего соответствия между словесной характеристикой значения и интервалом на этой шкале (разбросом числа баллов):

- Очень низкое - [0,2),
- Низкое - [2,4),
- Среднее - [4,6),
- Высокое - [6,8),
- Очень высокое - [8,10].

В примере, заимствованном из [31], показатели интерпретируются следующим образом:

- p_1 – уровень капитализации компании,
- p_2 – доля на рынке,
- p_3 – сроки окупаемости инвестиций,
- p_4 – оборот компании,
- p_5 – потери из-за сбоев (нарастающим итогом)

Продукции переходов графа целей:

(15) $\Phi(q_1)$: ЕСЛИ($d_3=1$)&($d_4=0$)&(($p_3<6$)v($p_4>3$))&($c_1=0$), \rightarrow ТО ($c_1=1$),

(16) $\Phi(q_2)$: ЕСЛИ($d_3=0$)&($d_4=1$)&($p_2>4$)&($c_2=0$), \rightarrow ТО ($c_2=1$),

(17) $\Phi(q_3)$: ЕСЛИ($d_3=1$)&($d_4=1$)&($p_1>3$)&($p_5<3$)&($c_3=0$), \rightarrow ТО ($c_3=1$),

(18) $\Phi(q_4)$: ЕСЛИ($c_1=1$)&($c_4=0$), \rightarrow ТО ($c_1=1$)&($c_4=1$),

(19) $\Phi(q_5)$: ЕСЛИ($c_2=1$)&($c_4=0$), \rightarrow ТО ($c_2=1$)&($c_4=1$),

(20) $\Phi(q_6)$: ЕСЛИ($c_3=1$)&($c_4=1$)&($c_5=0$)&($d_5=1$), \rightarrow ТО ($c_3=1$)&($c_4=1$)&($c_5=1$).

Продукции переходов графа действий (переменная t_i обозначает число единиц дискретного времени с момента срабатывания перехода t_i):

(21) $F(t_1)$: ЕСЛИ ($d_0=1$)&($d_1=0$)&($d_2=0$)&($c_1=0$)&($c_2=0$)&($c_3=0$)&($p_1>4$)&($v_1=1$), \rightarrow ТО($d_0=0$)&($d_1=1$)&($d_2=1$),

$$(22) F(t_2) : \text{ЕСЛИ}(d_1=1)\&(d_3=0)\&(\tau_1=1), \rightarrow \text{ТО}(d_1=0)\&(d_3=1),$$

$$(23) F(t_3) : \text{ЕСЛИ}(d_2=1)\&(d_4=0)\&(\tau_1=2), \rightarrow \text{ТО}(d_2=0)\&(d_4=1),$$

$$(24) F(t_4) : \text{ЕСЛИ}(d_3=1)\&(d_4=1)\&(d_0=0)\&(v_2=0), \rightarrow \\ \text{ТО}(d_3=0)\&(d_4=0)\&(d_0=1),$$

$$(25) F(t_5) : \text{ЕСЛИ}(d_3=1)\&(d_4=1)\&(d_5=0)\&(v_2=1), \rightarrow \\ \text{ТО}(d_3=0)\&(d_4=0)\&(d_5=1),$$

Продукции переходов графа показателей:

$$(26) П(r_1) : \text{ЕСЛИ}(p_1(\tau) \leq 2), \rightarrow \text{ТО}(p_2(\tau+1)=p_2(\tau)+1),$$

$$(27) П(r_2) : \text{ЕСЛИ}(p_2(\tau) \leq 4), \rightarrow \text{ТО}(p_3(\tau+1)=p_3(\tau)+1),$$

$$(28) П(r_3) : \text{ЕСЛИ}(p_3(\tau) > 6), \rightarrow \text{ТО}(p_4(\tau+1)=p_4(\tau)-0,5),$$

$$(29) П(r_4) : \text{ЕСЛИ}(p_4(\tau) \leq 4), \rightarrow \text{ТО}(p_1(\tau+1)=p_1(\tau)- \\ 0,5)\&(p_3(\tau+1)=p_3(\tau)+0,5)\& (p_5(\tau+1)=p_5(\tau)-0,5),$$

$$(30) П(r_5) : \text{ЕСЛИ}(p_5(\tau) > 7), \rightarrow \text{ТО}(p_1(\tau+1)=p_1(\tau)-1)\&(p_4(\tau+1)=p_4(\tau)-1).$$

Для каждого момента τ на временном горизонте моделирования, начиная с $\tau=0$, определяем достижение целей, выполнение действий и балльные значения показателей на основе следующей процедуры:

- последовательно проверяем условия для продукций всех переходов агента;
- для тех продукций, условия которых выполнены, вычисляем оператор и находим значения выходных переменных;
- строим диаграмму, отражающую динамику параметров триадной структуры.

Для рассмотренного выше примера (рис. 11 и выражения (15) – (30)) диаграмма динамики параметров триадной структуры при последовательности внешних воздействий (изображаются стрелками над диаграммой) $v_1(\tau=0)$, $v_2(\tau=3)$, $v_1(\tau=4)$, $v_2(\tau=7)$ дана на рис. 12.

| | | $\downarrow v_1=1$ | | $\downarrow v_2=0$ | $\downarrow v_1=1$ | | | $\downarrow v_2=1$ | | |
|-------|---|--------------------|---|--------------------|--------------------|-----|-----|--------------------|-----|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| c_1 | | | | | | | | | | |
| c_2 | | | | | | | | | | |
| c_3 | | | | | | | | | | |
| c_4 | | | | | | | | | | |
| c_5 | | | | | | | | | | |
| d_0 | | | | | | | | | | |
| d_1 | | | | | | | | | | |
| d_2 | | | | | | | | | | |
| d_3 | | | | | | | | | | |
| d_4 | | | | | | | | | | |
| d_5 | | | | | | | | | | |
| p_1 | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 |
| p_2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| p_3 | 2 | 3,5 | 5 | 6,5 | 8 | 9,5 | 11 | 12,5 | 14 | 14,5 |
| p_4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 |
| p_5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1,0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Рис.12. Диаграмма динамики параметров триадной структуры агента

При этом возможны два исхода эксперимента: либо доходим до конечного момента горизонта моделирования, не встречая нарушений в поведении системы, либо фиксируем такие нарушения. К таковым относятся, например:

- «зависание» агента, если обнаружен момент времени, в который не выполняется условие ни для одного перехода;
- противоречивость, если некоторому параметру в один и тот же момент присваиваются разные значения;
- выход параметра за границы допустимого для него интервала значений.

Заметим, что аналитическая верификация сложных производственных описаний представляет серьезные трудности, и имитационное моделирование при решении таких задач более эффективно. При обнаружении нарушений в деятельности агента производится корректировка его триадной модели на уровне графов и индикаторных выражений. Далее цикл имитационного моделирования повторяется.

Диаграмма разбита на три яруса, соответствующие целям, действиям и показателям. Горизонтальными линиями в верхнем и среднем ярусах изображены соответственно временные интервалы достижения целей и выполнения действий, в нижнем ярусе даны балльные значения показателей. В момент $\tau=6$ показатель «потери из-за сбоев» $p_5=0$, и для последующих моментов он согласно продукции (29) должен иметь отрицательное значение. Однако это противоречит смыслу, поэтому сохраняем $p_5=0$.

Показатель p_3 «сроки окупаемости инвестиций» в момент $\tau=6$ выходит за пределы десятибалльной шкалы и, продолжая нарастать, в конечный момент $\tau = 9$ превышает ее верхнюю границу на 45%. Это является критической ситуацией.

В завершение данного подраздела сформулируем *автоматную концепцию механизма функционирования триадной структуры*.

1) Динамическая система (ДС) характеризуется множествами целей $C = \{c_i\}$, $i = 1, \dots, m$, действий $D = \{d_i\}$, $I = 0, 1, \dots, k$, показателей $P = \{p_i\}$, $i = 1, \dots, n$, образующими триаду. Каждому множеству соответствует конечный автомат Мура с полной системой выходов (состояния отождествлены с выходами) [10]. Академик В.М. Глушков подразделял автоматы на абстрактные (состояния, входы, выходы – символы из соответствующих алфавитов) и структурные (символы представлены в виде многокоординатных векторов). Подмно-

жества векторов представимы логическими функциями (предикатами) над координатами. Предикат принимает единичное значение («Истина») при определенных отношениях на множестве координат.

2) Триадная структура – это система из трех взаимодействующих структурных автоматов с полной системой выходов: с-автомата, d-автомата, p-автомата (автоматы выражаются «нагруженными» двудольными графами - целей, действий, показателей; связи между графами, а также воздействие на них внешней среды иллюстрируется рисунком 10).

3) Абстрактный автомат определяется триадой $A = (S, X, \mu)$, где S - множество состояний, X - множество входов, $\mu = S \times X \rightarrow S$ - функция переходов [10]. Входы абстрактных с-, d-, p-автоматов выражаются соответственно декартовыми произведениями $X_c = V \times D \times P$, $X_d = V \times C \times P$, $X_p = V \times C \times D$, где V – множество внешних воздействий. При описании функции переходов для структурного автомата будем пользоваться предикатом Q , названным индикаторной логической формулой (ИЛФ), определенным на переменных, принадлежащих множествам (подмножествам этих множеств) C, D, P, V и их объединениям. Предикат значением «Истина» выделяет соответствующие переменные и их область изменения, опосредованно характеризующие вход и состояние автомата. Пара «вход - состояние» структурного автомата также выражается через ИЛФ. В дальнейшем, применяя термин «автомат», будем иметь ввиду структурные автоматы.

4) Функция переходов автоматов триадной модели представляет собой набор «причинно-следственных строк» (продукций), сопоставленных переходам двудольного графа. Для автоматов в составе триадной структуры продукции имеют вид:

$$(*) \text{ Для с-автомата } \pi: Q_i^{\{V,C,P,D\}}(\tau') \xrightarrow{F} Q_i^{\{C\}}(\tau'+1), i=1, \dots, a.$$

$$(**) \text{ Для d-автомата } \alpha: Q_j^{\{V,D,C,P\}}(\tau) \xrightarrow{\Phi} Q_j^{\{D\}}(\tau+1), j=0, 1, \dots, b$$

$$(***) \text{ Для p-автомата } \beta: Q_k^{\{V,C,P,D\}}(\tau'') \xrightarrow{R} Q_k^{\{P\}}(\tau''+1), k=1, \dots, n,$$

где Q – предикаты (ИЛФ), определенные на переменных, принадлежащих множествам, помещенным в фигурные скобки справа сверху от символов Q ; F, Φ, R – алгоритмы преобразования ИЛФ.

5) Рассмотрим механизм синхронизации автоматов в триадной структуре. По способу определения дискретных моментов времени (тактности) автоматы подразделяются на синхронные и асинхронные [2]. Синхронный автомат функционирует на заданной временной шкале, где моменты τ разделены равными промежутками времени. В изложенной выше процедуре имитационного моделирования поведения агента с триадной структурой мы исходили из того, что все три автомата являются синхронными и работают на единой временной шкале. В асинхронном автомате моменты соответствуют наступлению определенных событий, и могут быть разделены неравными промежутками времени. При асинхронной интерпретации каждый из автоматов триадной структуры может функционировать в «своей тактности», но при условии синхронизации в определенные опорные моменты с другими автоматами. Можно предположить, что применение асинхронного подхода позволит упростить процедуру имитационного моделирования агентов с триадной структурой.

Следуя терминологии [2], будем подразделять такты – временные интервалы между моментами срабатывания переходов в асинхронном автомате на «медленные» и «быстрые». Примем, что шкала τ – медленная, шкалы τ' , τ'' – быстрые, d-автомат работает на медленной шкале, остальные два автомата на быстрых. Пусть в момент τ триадная структура находится в равновесии и во всех трех группах продукций ((*), (**), (***)) $Q_i = 0$, $Q_j = 0$, $Q_k = 0$. Наступление следующего медленного такта $\tau+1$ определяется тем, что в одной, и только одной, продукции из группы (**) произойдет изменение $Q_j = 0$ на $Q_j = 1$. Если при имитационном моделировании такое изменение будет иметь место более чем в одной продукции d-автомата, то это в рамках данной модели фиксируется как нештатная ситуация. В момент $\tau+1$ запускается алгоритм Φ и происходит переход к правой части соответствующей продукции. Одновременно возможно изменение значения предиката, и притом только одного, в s- или r-автомате, или в обоих вместе. Это инициирует переходной процесс в активизированных автоматах, но уже в быстрой тактности. Штатной считается ситуация, когда установление равновесия в s- и r-автомате произойдет прежде окончания медленного такта в d-автомате. В противном случае идентифицируется нештатная ситуация, требующая коррекции модели.

Условие наступления медленного такта $\tau+1$ для d-автомата вычисляется на основе значений переменных d в предыдущем медлен-

ном такте τ , и установившихся значений переменных s , p , в быстрой тактности, реализуемой s - и p -автоматом в медленном такте τ . Если в условиях наступления быстрого такта s -автомата (p -автомата) присутствуют переменные p (переменные s), то условия также вычисляются по соответствующим установившимся значениям предыдущего медленного такта.

Несколько слов в пояснение позиции автора. Модель – это не более чем гипотетическая конструкция, в той или иной степени отображающая определенные свойства реальной системы (класса систем). В работе обсуждается графодинамический аппарат описания и анализа асинхронных систем, функционирование которых заключается в последовательных переходах (вследствие внешних воздействий или/и внутренней ситуации) из одного равновесного положения в другое. Со следующей особенностью: процесс изменения действий является более инерционным (длительным), чем процессы учета дискретного взаимовлияния переменных, соответствующих целям и показателям. В итоге все три автомата триадной структуры приходят в равновесие, но d -автомат самым последним. Такой штатный режим характерен далеко не для всех ДС, но если он обязателен, или желателен, то с помощью имитационного моделирования триадной структуры его наличие несложно проверить.

Многоуровневая триадная структура

Пусть имеется однородная триадная структура i -го уровня, $i = 1, 2, \dots, n-1$. Для преобразования ее в более детальную структуру $i+1$ -го уровня выполним следующие шаги.

1. В графах целей, действий и показателей выделим фрагменты, которые будем называть блоками, состоящие из компонентов:

- заданного подмножества позиций;
- всех переходов на этом подмножестве, у которых все входные и все выходные позиции принадлежат подмножеству (внутренние переходы блока);
- всех переходов блока, у которых по меньшей мере одна входная или выходная позиция не принадлежит блоку (внешние переходы блока).

2. Для блока, выделенного на i -ом уровне триадной структуры, формируем детализирующий (конкретизирующий) его блок такой, что внешние переходы обоих блоков находятся во взаимно однозначном соответствии.

3. Преобразуем граф i -го уровня – «вырезаем» из него выделенный блок и на его место «вставляем» детализирующий блок так, чтобы совпали сопоставленные друг другу внешние переходы.

4. Корректируем продукции, нагружающие переходы полученного графа $i+1$ -го уровня.

Поясним описанную методику на примере графа действий i -го уровня, изображенного на рис 11б. Алгоритм преобразования графа проиллюстрирован на рис 13.

Заключительные замечания

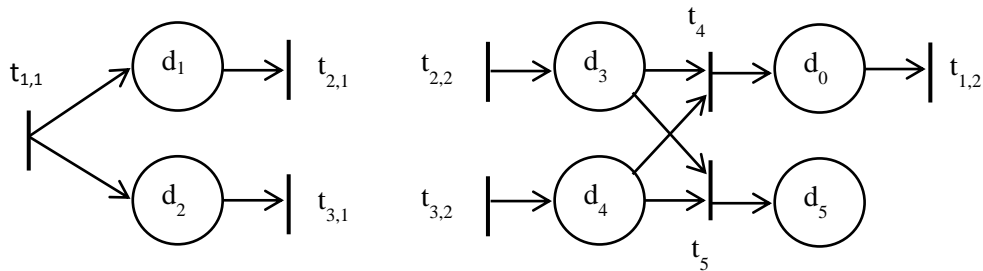
Выразительность и разрешимость модели. Под выразительностью понимается простота восприятия и осознания модели человеком-пользователем, под разрешимостью – эффективность формального анализа ее свойств с применением компьютерных средств.

Следуя [30], будем говорить что переходы $t_{i.1}, \dots, t_{i.m}$, принадлежащие разным графам, находятся в связке, если они срабатывают одновременно, и только одновременно. Связка обозначается соотношением $t_i = \{t_{i.1}, \dots, t_{i.m}\}$, в котором переход от левой части к правой соответствует декомпозиции графа на блоки, а переход от правой к левой – композиции графа из блоков. В графе на рис. 11б образуем парные связки на базе переходов t_1, t_2, t_3 . Как результат декомпозиции получим два блока, изображенные на рис.13а. На рис. 13б показаны также два блока. Левый из них является детализацией левого блока на рис. 13а и имеет одинаковые с ним внешние переходы: входной $t_{1.1}$ и выходные $t_{2.1}, t_{3.1}$. Правый блок повторяет правый блок на рис 13а. К блокам на рис 13б применим операцию композиции («слияния» связанных переходов): $\{t_{1.1}, t_{1.2}\} = t_1$, $\{t_{2.1}, t_{2.2}\} = t_2$, $\{t_{3.1}, t_{3.2}\} = t_3$. В результате получим детализированный граф действий $i+1$ -го уровня, изображенный на рис 13в.

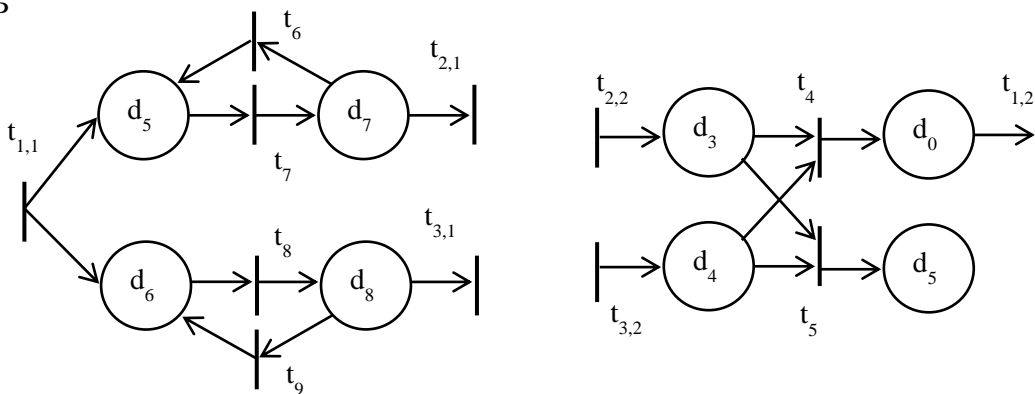
Отмечено, что обе эти характеристики взаимно противоречивы: чем выше лингвистическо-балльная оценка одной из них, тем ниже другой. Выразительность достигается применением визуальных образов (графических, в том числе графовых конструкций), разрешимость – богатейшим арсеналом математических средств. Баланс между выразительностью и разрешимостью достигается тем, что при построении модели вначале создается графическая основа, которая затем трансформируется в систему математических выражений. Примером могут служить примененные в работе индикаторные сети, где статическая составляющая (графическая основа) представле-

на двудольном графом, а динамическая составляющая – системой
 продукций на базе ИЛФ.

А



Б



В

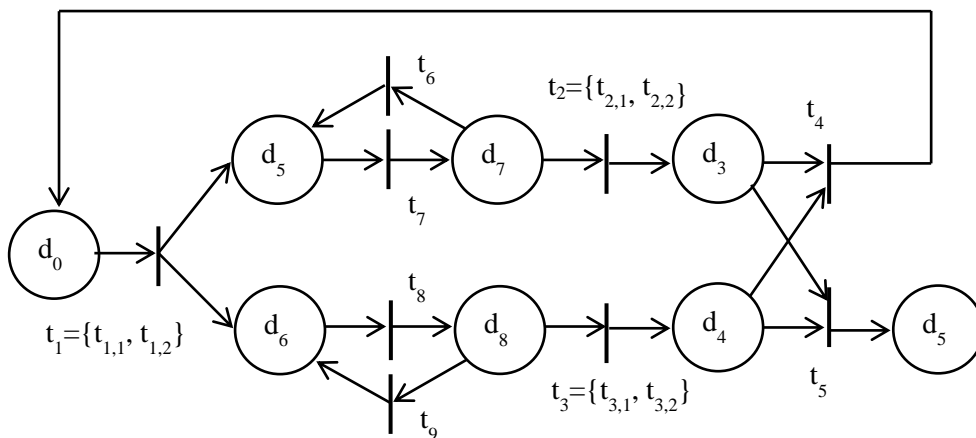


Рис13. Преобразование графа действий уровня i в граф уровня $i+1$

Однородная триадная модель развития. Процесс развития сложной (крупномасштабной) системы определяется динамикой факторов, принадлежащих трем основным группам: целей развития, действий по достижению целей, показателей процесса. Управление развитием предусматривает мониторинг динамики факторов, принятие решений, формирование воздействий на систему. Управление

сменой целей и действий является дискретным и происходит в моменты наступления определенных событий. При управлении показателями возможны два варианта: дискретно-событийное либо «псевдодискретное» управление, когда воздействия подаются в каждый момент на временной шкале (в каждом такте). Большинство методов когнитивного анализа ориентировано на второй вариант. Поэтому триадная модель развития [38,49], отображающая изменения и взаимодействия целей, действий и показателей, является неоднородной, так как для целей и действий с одной стороны, и для показателей с другой стороны, применяется разный понятийный и формальный аппарат. Это, несомненно, усложняет модель развития.

В книге на примере агентов сетей предложена однородная асинхронная триадная модель развития сложных систем, в которой для целей, действий и показателей применен единый дискретно-событийный аппарат графов и индикаторных выражений.

Борьба со сложностью. Сложность больших систем, состоящих из сотен (а возможно и тысяч) компонентов, является серьезным препятствием при построении модели, ее анализе и организации управления. Для преодоления этого препятствия большую систему разбивают на части, такие чтобы структура частей и отношения между частями были наглядны и понятны для человека, выстраивают иерархию частей, и описывают и анализируют модель по уровням – сверху вниз или снизу вверх. При этом традиционно используют «принцип дерева», заложенный в серии стандартов IDEF [21]: описание нижестоящего уровня иерархии является детализацией («разверткой») некоторого элемента описания вышестоящего уровня. Недостатком такого подхода является трудность восприятия человеком описания системы в целом. В книге предлагается в качестве модели процессов функционирования агентов применять многоуровневую асинхронную триадную структуру, построенную по «принципу линейки», где графы целей, действий, показателей нижестоящего уровня являются развертками соответствующих графов вышестоящего уровня. Таким образом, на каждом уровне дается модель всей системы, однако при движении по линейке сверху вниз эта модель постепенно уточняется и конкретизируется. Другими словами, процесс построения модели сложной системы – это одновременно и творческий процесс познания и конструирования ее структуры и поведения.

ГЛАВА 2

ГРАФОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОАГЕНТНОЙ ТРИАДНОЙ СЕТИ

2.1. Взаимодействие агентов в сети

Многоагентная триадная сеть представляет собой множество взаимосвязанных агентов [11, 29] (субъектов или объектов), в котором:

- каждый агент сохраняет свою индивидуальность, а именно, имеет собственные (индивидуальные) цели, выполняет направленные на достижение этих целей индивидуальные действия, характеризуется индивидуальными показателями;
- связанность агентов заключается в том, что их деятельность может координироваться во времени, и в определенные моменты они могут передавать друг другу ресурсы;
- результатом индивидуальной деятельности агентов является достижение определенных коллективных целей и определенная динамика коллективных показателей.

Задача синтеза сети в общем виде формулируется следующим образом. Известен набор агентов, представленных, например, расширенными триадными структурами (раздел 1.3), отображающими взаимовлияние графов индивидуальных целей, действий, показателей, и заданы коллективные цели и показатели. Требуется определить, можно ли путем организации связей между агентами создать сеть, в которой наряду с индивидуальными целями достигались бы и желаемые коллективные цели при допустимых значениях индивидуальных и коллективных показателей. Если желаемых целей достичь нельзя, то какие коллективные цели реально достижимы? Аналитическое решение задачи синтеза сети с получением соответствующих необходимых и достаточных условий представляется весьма трудным и может стать предметом специальной работы. В данной книге автор ограничивается построением модели, позволяющей подбирать параметры сети и проверять эффективность такого подбора с помощью имитационного моделирования.

Рассмотрим моделирование динамики внешнего поведения сети, определяемого взаимодействиями между агентами. Как уже говорилось, два агента считаются связанными, если их индивидуальная деятельность координируется во времени, и в определенные моменты они могут передавать друг другу ресурсы. Взаимодействие агентов в составе сети будем интерпретировать как проявление их связанности. Два перехода, относящиеся к разным агентам, назовем синхронизированными, если они срабатывают одновременно, и только одновременно (по терминологии [30] находятся в связке). Синхронизированными могут быть переходы графов действий и графов показателей агентов. Для синхронизации переходов соответственно с условиями ИЛФ_i, ИЛФ_j надо эти условия в индикаторных выражениях заменить конъюнкцией ИЛФ_i & ИЛФ_j. Если в момент срабатывания синхронизированных переходов, принадлежащих разным агентам, от одного из них надо передать другому материальный или финансовый ресурс R, то оператор передающего агента в этот момент вычитает из соответствующей переменной величину R, а оператор принимающего агента прибавляет R (для информационного ресурса, как говорилось выше, вычитание не производится).

Проиллюстрируем взаимодействие агентов на примере. Пусть ресурс R = 2 передается от агента 1 при срабатывании перехода r₅ графа показателей (рис. 11), нагруженного индикаторным выражением (30), а принимается агентом 2 при срабатывании синхронизированного с r₅ перехода r₆ агента 2 (на рис не показан), нагруженного выражением:

$$(31) \quad \Pi(r_6): \text{ЕСЛИ } (p_6(\tau) < 3) \rightarrow \text{ТО } (p_7(\tau+1) = p_7(\tau) + 1).$$

Выражения (30) и (31) заменяем соответственно на (32), (33):

$$(32) \quad \Pi(r_5): \text{ЕСЛИ } (p_5(\tau) > 7) \& (p_6(\tau) < 3) \rightarrow \text{ТО } (p_1(\tau+1) = p_1(\tau) - 2) \& (p_4(\tau+1) = p_4(\tau) - 2),$$

$$(33) \quad \Pi(r_6): \text{ЕСЛИ } (p_5(\tau) > 7) \& (p_6(\tau) < 3) \rightarrow \text{ТО } (p_7(\tau+1) = p_7(\tau) + 3).$$

Из выражений (32) и (33) следует, что при взаимодействии агентов в момент $\tau+1$ из позиций p_1 и p_4 агента 1 изымается не по одной, а по две единицы ресурса. При этом сумма дополнительных

изъятий (две единицы) вносится в позицию p_7 агента 2, т.е. ресурс p_7 увеличивается на 3 единицы.

Заключительные замечания

1. Сеть представляет собой множество взаимодействующих триадных агентов со своими индивидуальными целями, действиями и показателями, которая в процессе функционирования ориентирована на достижение интегральных (коллективных) целей и характеризуется интегральными показателями.

2. Взаимодействия агентов в сети происходят в форме передачи ресурса или/и информационного сообщения. Взаимодействия зависят от внешней и внутренней ситуации в сети и окружающей ее среде, и носят нерегулярный (случайный) характер.

3. Задача анализа сети заключается в том, чтобы при заданных триадных агентах и при исследуемом аналитиком возможном порядке межагентных взаимодействий определить достигнутые индивидуальные и интегральные цели и отклонения от нормы индивидуальных и интегральных показателей.

4. Поставленная задача анализа решается методом имитационного моделирования: аналитик формирует вариант графа конфигурации сети, проводит имитационный эксперимент, анализирует его результаты и при необходимости принимает решение о коррекции агентов и конфигурации сети.

2.2. ОПЕРАЦИИ НАД ГРАФАМИ СЕТЕЙ («ГРАФОХИРУРГИЯ»)

Существует содержательная аналогия между медицинскими хирургическими операциями типа пересадки тканей и органов, «вживления» (имплантации) искусственных устройств – кардиостимуляторов, сердечных клапанов, протезов суставов и т.д., и операциями преобразования графов. При классической медицинской операции последовательно выполняются следующие этапы: разрез тканей и доступ к пораженному органу; «отключение» органа от системы кровообращения (и, возможно, других систем организма); удаление пораженного органа или его части (например, новообразования); при имплантации – «вставка» замещающего органа; сшивание сосудов и тканей.

При выполнении операции преобразования графа сети будем применять следующий базовый алгоритм.

1. Выделяем (замкнутой пунктирной линией) фрагмент графа, который подлежит замене. Граничные переходы выделенного фрагмента представляем в виде связок – совокупности синхронизированных компонентов, которые могут срабатывать одновременно, и только одновременно (понятие «связка» уже упоминалось ранее в разделе 1.3). Каждый компонент связки принадлежит либо фрагменту, либо остальной части графа. Таким образом, выделенный фрагмент оказывается отделенным от исходного графа.

2. Удаляем фрагмент, отделенный от остальной части графа.

3. Вставляем замещающий фрагмент с формированием связок, синхронизирующих источники (стоки) этого фрагмента и стоки (источники) остальной части графа (источниками и стоками согласно [30] называют переходы, которые не содержат соответственно входных и выходных дуг). Замещающий фрагмент может быть «пустым», не содержащим ни одной позиции.

4. Каждую введенную связку заменяем одним переходом («сшивание» компонентов связки).

Ввиду отмеченного выше подобия между медицинскими операциями и операциями преобразования графов последние будем называть графохирургическими операциями.

Проиллюстрируем базовый алгоритм проведения графохирургических операций на примерах. В графе на рис.14А выделены два фрагмента: верхний и нижний, содержащие соответственно позиции a_3, a_5 и a_4, a_6 . Граничными переходами для этих фрагментов служат b_2, b_7 , представимые связками $b_2 = \{b_2^1, b_2^2, b_2^3\}$, $b_7 = \{b_7^1, b_7^2, b_7^3\}$. Удаляем фрагменты, выделенные на рис. 14А, и замещаем их фрагментами, показанными на рис.14Б, - верхним на базе позиций a_8, a_9 и нижним пустым фрагментом. Далее «сшиваем» связки b_2, b_7 и получаем граф, изображенный на рис. 14В.

Базовый алгоритм может быть применен для различных вариантов графохирургических операций. На рис. 15 показана операция совмещения двух позиций графа с заменой их одной позицией. Входными (выходными) переходами совмещенной позиции становятся входные (выходные) переходы совмещаемых позиций. Пусть, например, требуется совместить позиции a_2 и a_7 . Выделяем и удаляем позицию a_7 (рис. 15Б) и переходы b_7, b_8, b_9 соединяем дугами с

позицией a_2 (рис. 15В). Из b_7 в a_2 выводится выходная дуга, из a_2 в b_8 – также выходная дуга, b_9 связан с a_2 входной и выходной дугами.

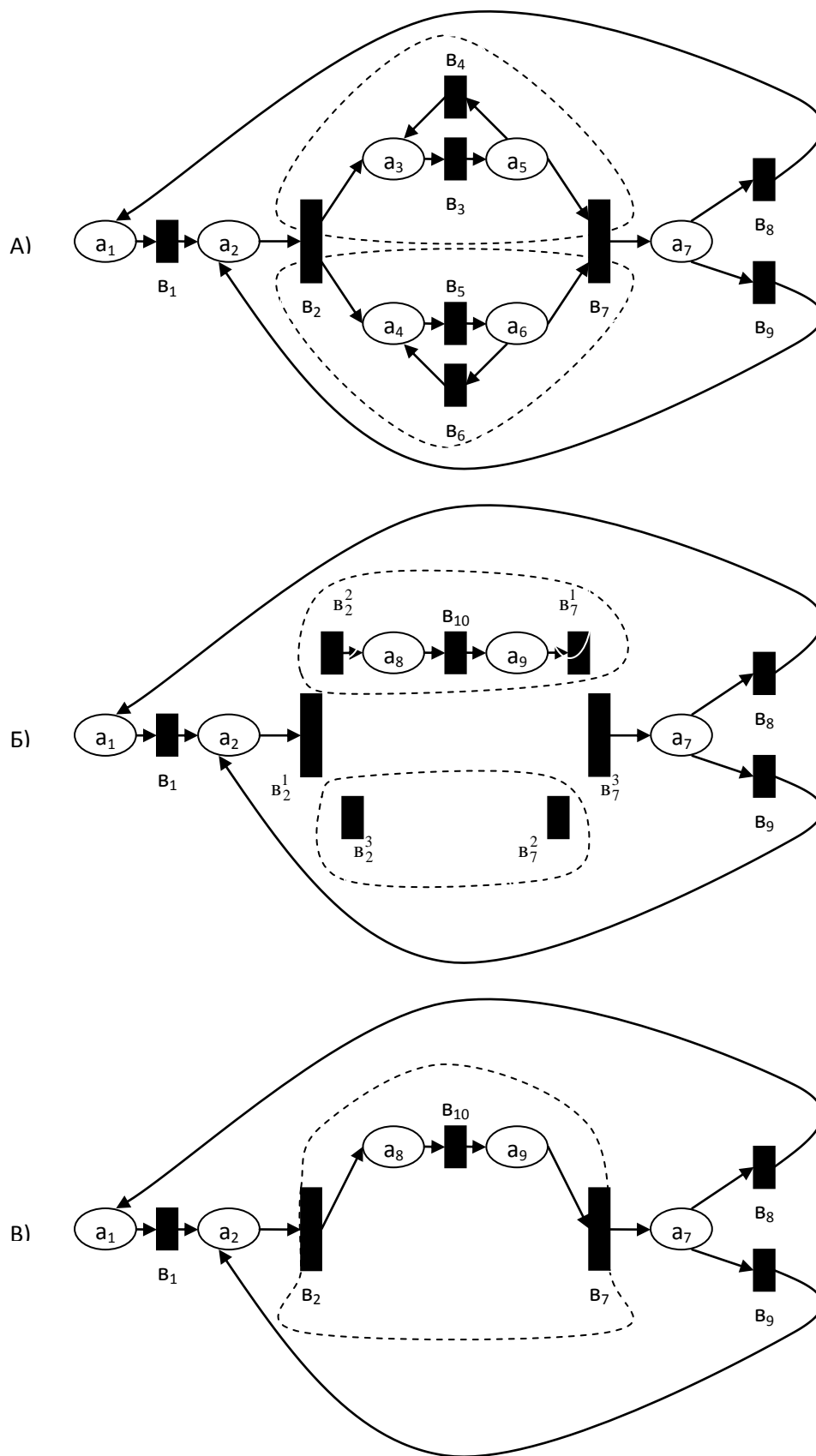


Рис. 14. Пример графохирургической операции

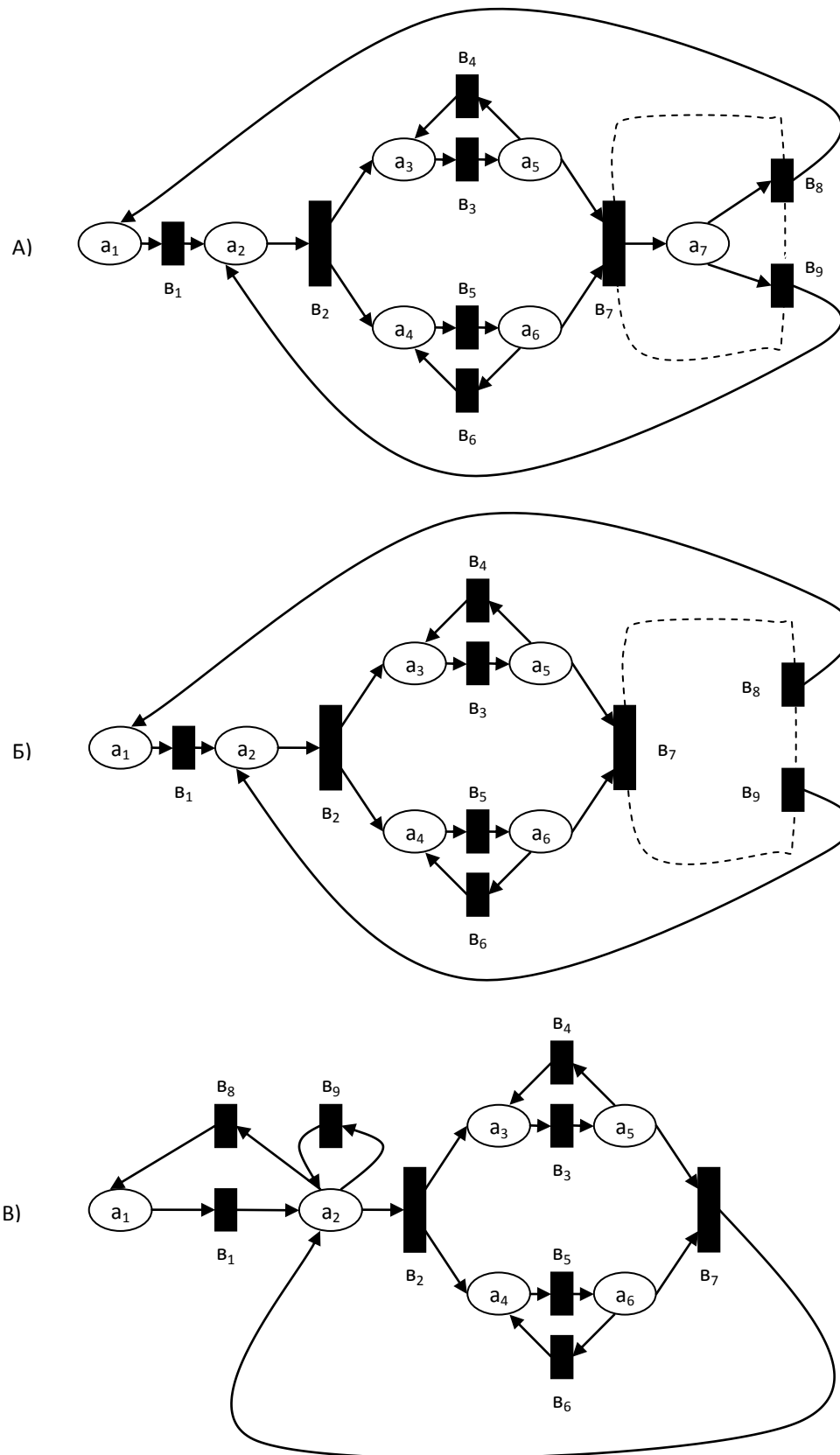


Рис. 15. Операция совмещения позиций

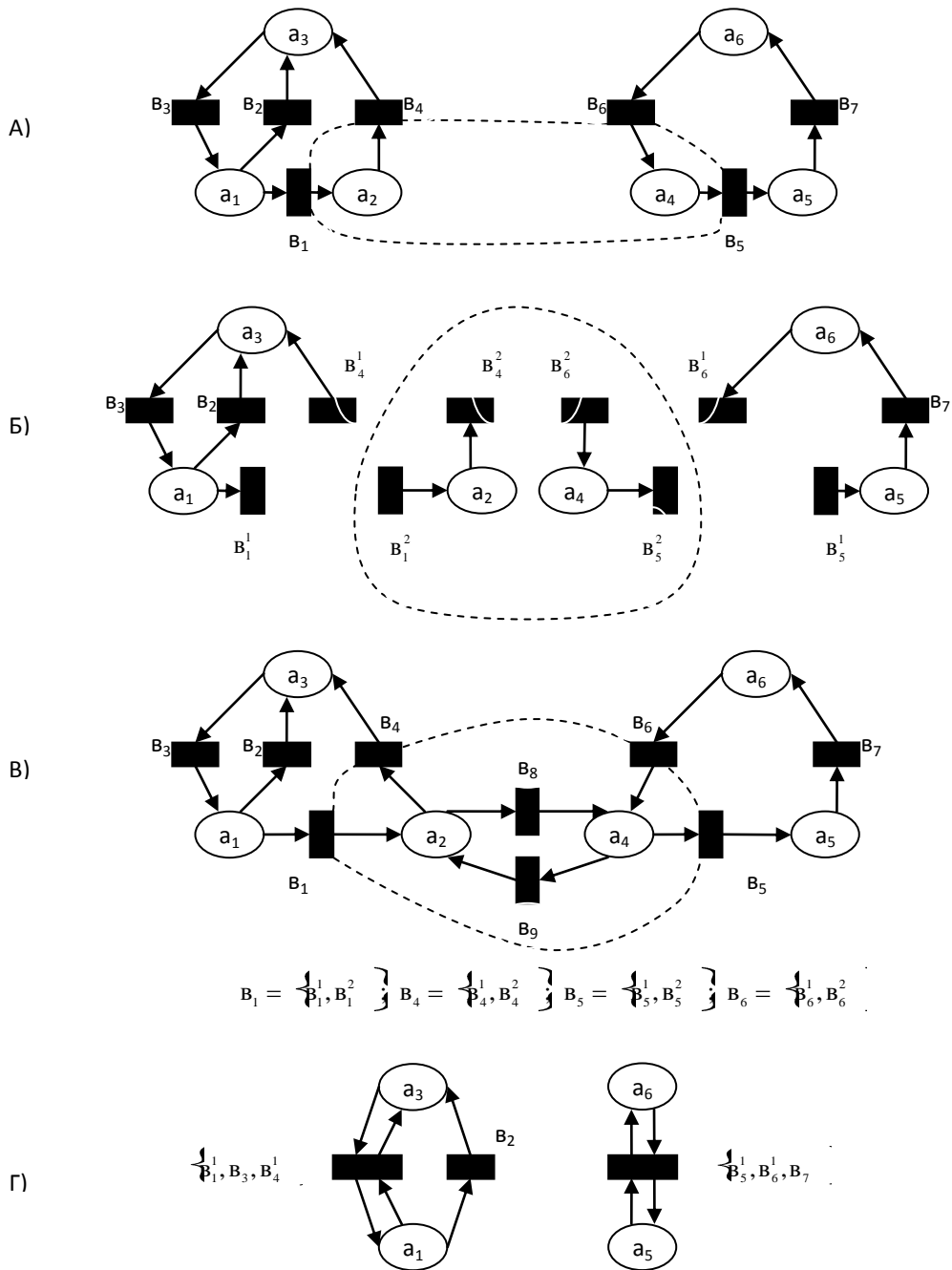


Рис. 16. Графохирургическое преобразование пары графов:
 В – введение соединительного фрагмента, Г – введение дополнительных дуг

На рис. 16 даны примеры преобразования пары графов: соединения их в один граф и введения в графы дополнительных дуг. На рис. 16А выделен фрагмент, состоящий из позиций a_2, a_4 , принадлежащих разным графам. Далее по переходам b_1, b_4, b_5, b_6 вводятся связи и отделяется центральный фрагмент (рис. 16Б). После удале-

ния этого фрагмента, вставки замещающего фрагмента с переходами b_8, b_9 и «сшивания» соответствующих связей, приходим к единому графу, показанному на рис. 16В. Другой вариант преобразования графов на рис. 16А заключается в том, что в оставшихся после удаления центрального фрагмента частях формируются связки, содержащие, помимо компонентов «разрезанных» переходов, и «неразрезанные» переходы: $\{b_1^1, b_3, b_4^1\}$, $\{b_5^1, b_6^1, b_7\}$. После «сшивания» связей получим графы, приведенные на рис. 16Г.

Заключительные замечания

Управление процессом функционирования сети предусматривает возможность изменения ее конфигурации - как в части числа действующих агентов, так и характера взаимодействий между ними. Известен ряд типовых операций, отображающих преобразование графа конфигурации: введение/удаление элемента сети (позиции или перехода), слияние позиций, копирование подграфа и т.д. [5, 28, 41]. Список типовых операций является открытым и при необходимости может пополняться.

В книге изложен общий («графохирургический») метод преобразования графов, на основе которого могут порождаться типовые операции (интерпретируемые как частные случаи общего решения). Метод позволяет вносить выборочные изменения в определенные фрагменты конфигурации, сохраняя преемственность в отношении остальной части сети. «Графохирургия» включает: «разрезание» некоторых переходов сети с формированием так называемых связей – подмножеств синхронизированных переходов; отделение и удаление фрагмента сети; вставку на его место другого фрагмента; «сшивание» связей – замена их неструктурированными переходами.

2.3. ДИНАМИКА ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ СЕТИ

Процесс развития сети на дискретной временной шкале $\tau = 0, 1, \dots, N$ характеризуется последовательностью графов конфигураций $g(\tau)$, где каждая последующая конфигурация $g(\tau+1)$ формируется на основе предыдущей конфигурации $g(\tau)$ путем выполнения действия с применением «графохирургического» метода преобразования графов, описанного в разделе 2.2. Введем ограничение: действие $d_i = g(\tau) \rightarrow g(\tau+1)$ инвариантно относительно момента τ , т.е. каждое дей-

ствие имеет одну входную конфигурацию, которой соответствует одна, только одна, выходная конфигурация. При этом последовательность конфигураций на заданном временном горизонте генерируется конечным автоматом на основе дерева (состояния автомата сопоставляются с действиями над конфигурациями сети, входы – с предыдущей конфигурацией и условиями смены действий в виде индикаторных логических формул [41]).

Решаемая далее задача формулируется следующим образом. Задана начальная конфигурация в момент $\tau=0$ и выбран набор действий над конфигурациями. Требуется для каждого момента $\tau>0$ определить выходную конфигурацию соответствующего действия $d(\tau)$. Для этого построим конечно-автоматную модель преобразования конфигураций сети.

Введём обозначения:

$D=\{d_i, i=1, \dots, m\}$ – множество действий,

$G=\{g_i, i=1, \dots, n\}$ – множество графов конфигурации,

$V=\{v_i, i=1, \dots, k\}$ – множество условий смены действий, выражаемых индикаторными логическими формулами.

Входной и выходной граф относительно действия в момент $\tau=0, 1, \dots, N$ обозначим соответственно $g_{вх}(\tau)$, $g_{вых}(\tau)$.

Примем следующие соотношения:

$$(34) \quad g_{вх}(\tau+1) = g_{вых}(\tau),$$

$$(35) \quad g_{вых}(\tau) = \alpha(d(\tau), g_{вх}(\tau)),$$

$$(36) \quad d(\tau+1) = \beta(d(\tau), v(\tau+1)),$$

где α, β - операторы, заданные лицом, проводящим моделирование.

Подставляя (34) в (35) для момента $\tau+1$ и затем (36) в полученное выражение, придем к соотношению:

$$(37) \quad g_{вых}(\tau+1) = \alpha(d(\tau+1), g_{вых}(\tau)) = \alpha(\beta(d(\tau), v(\tau+1)), g_{вых}(\tau)) = \pi(d(\tau), v(\tau+1), g_{вых}(\tau)),$$

где оператор π определяется на основе операторов α и β .

Графодинамика процессов развития сетевых структур отображается уравнениями (36), (37), выражающими соответственно функцию переходов и функцию выходов конечного автомата. Для

начального момента задаем конфигурацию $g_{\text{ВЫХ}}(0)$, $d(0)$ – пустое действие.

Формально конечно-автоматная модель процессов развития сетей представляется в виде набора:

$$(38) A = \langle D, G, W, \beta, \pi, g_{\text{ВЫХ}}(0) \rangle$$

Пример.

Конечно-автоматную модель проиллюстрируем на примере, показанном на рис. 17.

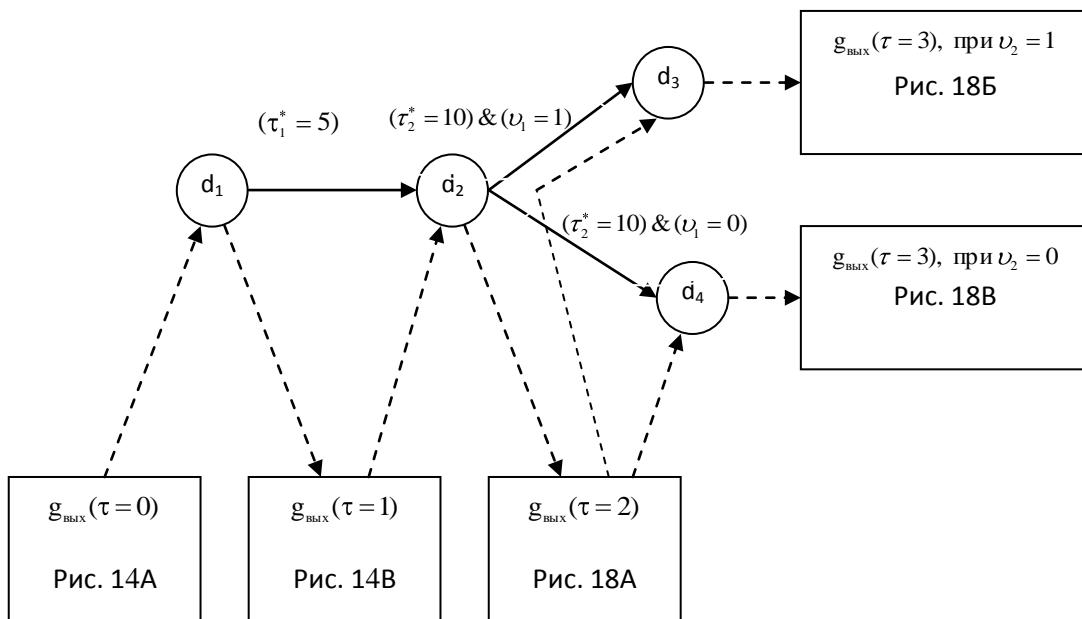


Рис. 17. Конечно-автоматная модель процесса развития сети.

Кружками на рис. 17 изображены действия, прямоугольниками показаны выходные графы конфигураций, формируемые действиями в моменты τ . Эти графы являются входными для действия в момент $\tau+1$. Дуги, помеченные индикаторными логическими формулами, отображают порядок следования действий согласно (36).

Определим дискретную временную шкалу, на которой реализуется процесс развития сети. Моменты $\tau = 0, 1, \dots, N$, соответствующие завершению текущего действия, совпадающему с началом следующего действия, определим как начальные точки «медленных» тактов. Моменты $\tau^* = 0, 1, \dots$ внутри интервала $[\tau, \tau+1]$, характеризующие продолжительность действия, сопоставим начальным точкам «быстрых» тактов. Каждому действию d_i соответствует быстрая тактность τ_i^* .

Условие перехода от действия к действию выражается логической формулой:

$$(39) \quad w = f_{\tau}(\bullet) \& f_{\tau}^*(\bullet),$$

где булева функция f_{τ} индицирует временные требования к текущему действию, а функция f_{τ}^* – требования к величине внешних воздействий, инициирующих в момент $\tau+1$ следующее действие.

Вернемся к примеру на рис. 17. Действие d_1 в медленном такте $[0,1]$ преобразует граф конфигурации на рис. 14А в граф, показанный на рис. 14В: верхний выделенный на рис. 14А фрагмент замещается фрагментом на базе позиций a_8, a_9 , нижний удаляется без замещения. По прошествии пяти единиц быстрого времени с момента начала действия d_1 ($\tau_1^* = 5$) запускается действие d_2 , которое преобразует граф конфигурации на рис. 14В в граф, показанный на рис. 18А: удаляется фрагмент (рис. 14В) на базе позиций a_8, a_9 , и связка «сшивается» в один переход $b_{10} = \{b_2^1, b_7^3\}$. Действие d_2 длится 10 единиц быстрого времени, по истечении которых при внешнем воздействии $v_1 = 1$ запускается действие d_3 , а при воздействии $v_1 = 0$ – действие d_4 . Действие d_3 преобразует граф конфигурации на рис. 18А в граф на рис. 18Б путем замены перехода b_8 связкой $\{b_8^1, b_8^2\}$, образования связки $b_{11} = \{b_1, b_8^2\}$, проведения в графе на рис. 18Б дуги из b_8^1 в позицию a_7 и из b_{11} дуги в позицию a_1 . Действие d_4 аналогичным образом преобразует граф на рис. 18А в граф на рис. 18В с помощью связок $b_9 = \{b_9^1, b_9^2\}$, $b_{12} = \{b_9^2, b_{10}\}$, охвата позиции a_7 «петлей» b_9^1 и проведения дуги из b_{12} в a_2 .

Заключительные замечания

Рассмотрена графодинамическая модель развития сети на заданном временном горизонте. С этой целью на временной шкале горизонта введена медленная и быстрая тактность, где первая определяется моментами смены конфигурации сети (точками бифуркации), вторая – моментами структурных изменений в процессе функционирования сети при фиксированной конфигурации. Смена конфигураций производится с помощью действий, выполняемых на основе графохирургических операций. Последовательность конфигураций генерируется конечным автоматом, функции переходов и выходов которого выведены выше. Состояния автомата соответствуют действиям в медленных тактах, входы – парам «конфигурация сети в

предыдущем медленном такте – внешнее воздействие в данном такте», выходы – конфигурациям в данном медленном такте.

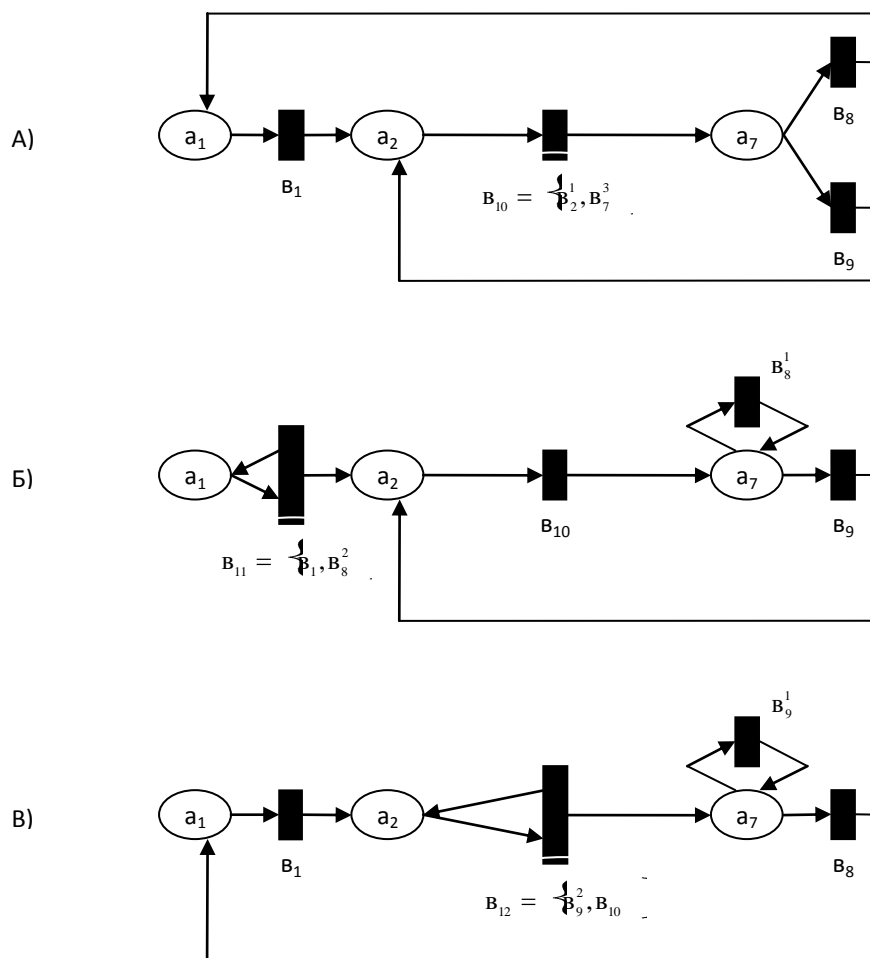


Рис. 18. Дополнение к примеру на рис. 17

2.4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ ПРИ РАЗВИТИИ СЕТИ

Развитие сложных организационных сетей (организаций), в первую очередь административных и социально-экономических, происходит циклически. В цикле выделяются три главных периода: становления (развертывания), стабильного существования, спада (свертывания). Известны и более детальные модели жизненного цикла организаций, например, рассмотренные в [1, 24]. Организация может «прожить» только один цикл, но может пройти и через множество циклов. Цикл будем моделировать последовательностью графов конфигурации, где преобразование одной конфигурации в другую производится описанным выше «графохирургическим» ме-

тодом. Для оценки и сравнения конфигурации, соответствующей медленному такту τ , введем интегральный показатель $x(\tau)$ – коэффициент жизнеспособности организации.

Последовательность значений коэффициента жизнеспособности x определяет тенденцию развития организации в пределах цикла и способствует выбору способа управления развитием. Для цикла задается нормальный интервал жизнеспособности $[x_{\min}, x_{\max}]$. Превышение его верхней границы (организация становится слишком сложной) чревато нарушением управляемости, а выход за пределы нижней границы (снижение коммуникативности) – ослаблением организации вплоть до прекращения её существования. Значение x в момент τ будем определять по формуле:

$$(40) \quad x(\tau) = \alpha \langle a(\tau) \rangle + \beta \langle b(\tau) \rangle,$$

где α, β – константы, выбранные лицом, проводящим моделирование; $\langle a(\tau) \rangle, \langle b(\tau) \rangle$ – соответственно число позиций и переходов в графе конфигурации сети в момент τ . В качестве примера рассмотрим граф на рис. 14А, для которого $\langle a(\tau) \rangle = 7, \langle b(\tau) \rangle = 9$. Для констант в формуле (40) примем $\alpha = 0,50, \beta = 0,27$. Получим $x(\tau) = 5,9$.

При оценке конфигураций и принятии решений руководство организаций предпочитает пользоваться не балльной, а лингвистической шкалой жизнеспособности. Соответствие между этими шкалами отображается диаграммой, показанной на рис. 19 [17]. На оси x толстой линией выделен интервал допустимых балльных значений жизнеспособности. Степень уверенности (вероятность) соответствия балльного значения лингвистической оценке обозначена через q и откладывается по оси ординат. Каждой лингвистической оценке сопоставляется треугольник, вершина которого со степенью уверенности $q = 1$ проецируется в конкретное число баллов, а основание ($q = 0$) обозначает разброс вокруг этого балльного значения. Найденная по формуле (40) точка на оси x проецируется на боковую сторону соответствующего треугольника, и далее на ось q . В примере на рис. 19 коэффициент жизнеспособности $x = 5,9$ соответствует оценке «Средняя» со степенью уверенности $q = 0,7$.

На рис. 20 изображены примеры графиков коэффициента x жизнеспособности организации на протяжении цикла. Для простоты интервалы между моментами изменения конфигурации приняты равными. Зона допустимой жизнеспособности выделена горизонтальными пунктирными линиями. Графики являются ступенчатыми и содержат восходящую (развертывание) и нисходящую (свертыва-

ние) ветвь. При построении графиков соблюдалось требование, чтобы они не выходили за пределы допустимой зоны. Как уже говорилось выше, увеличение продолжительности цикла повышает стабильность процессов развития организации. Цикл на рис. 20а (8 условных временных единиц) предпочтительнее цикла на рис. 20б (5 условных единиц).

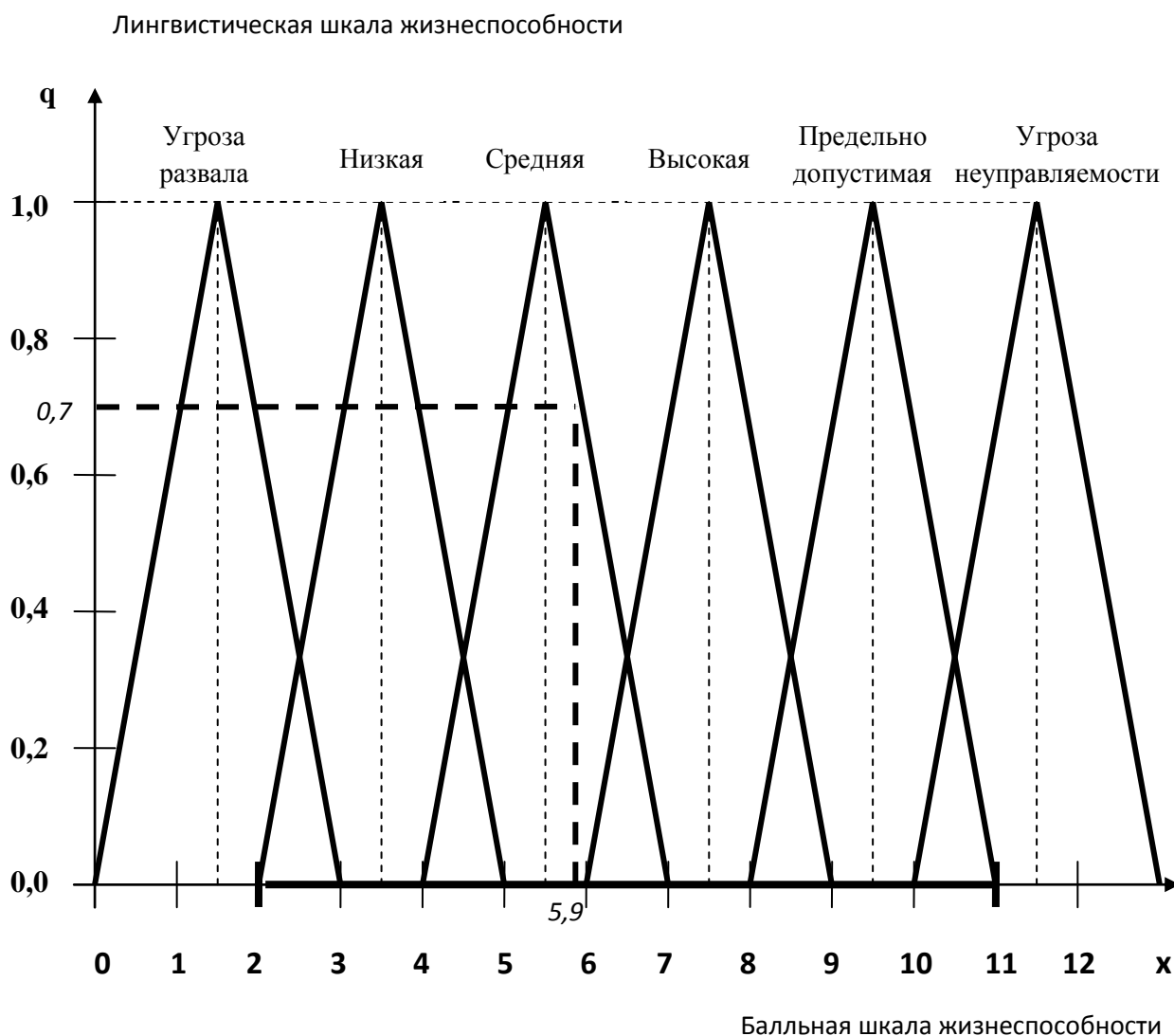
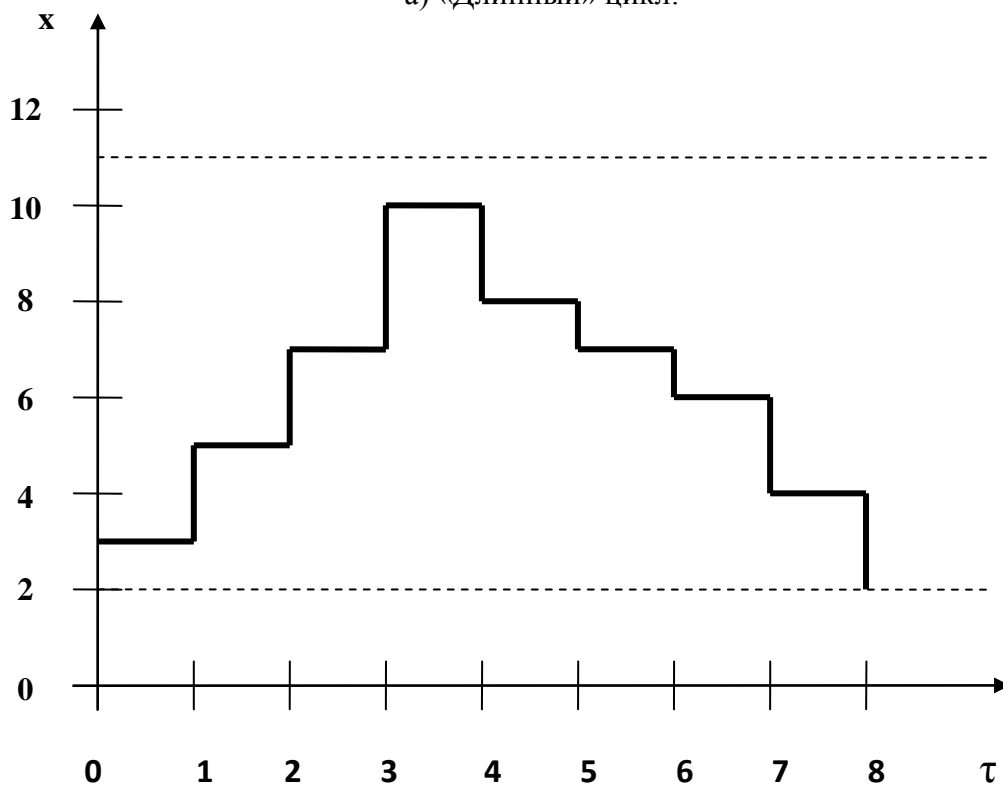


Рис. 19. Шкала измерения жизнеспособности организации

а) «Длинный» цикл:



б) «Короткий» цикл:

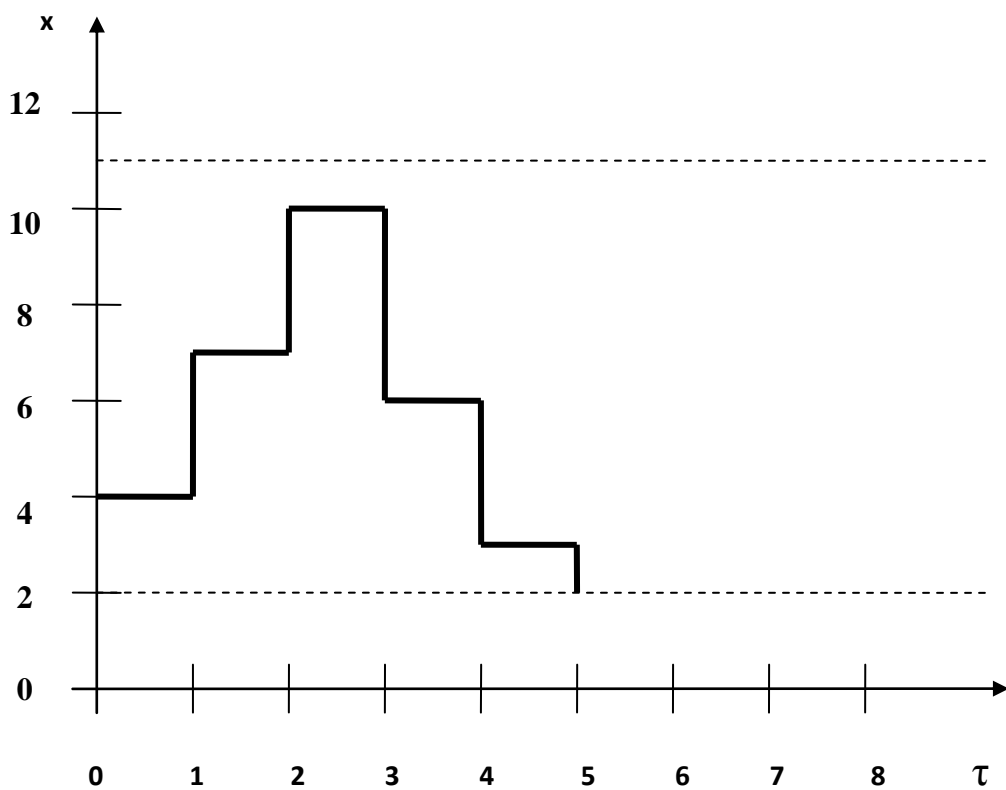


Рис. 20. Динамика коэффициента жизнеспособности организации в пределах цикла

Заключительные замечания

Изложенная выше методология моделирования цикличности развития организаций предусматривает следующее.

1. Применение «графохирургического» метода преобразования конфигураций организации.

2. Лингвистическо-балльную оценку конфигураций на основе коэффициента жизнеспособности организаций.

3. Следование гипотезе о максимизации длительности цикла «развертывание – стабильная работа - свертывание» как условия стабильного развития организации.

Глава 3

АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОАГЕНТНОЙ ТРИАДНОЙ СЕТИ

Как уже говорилось выше, модель сети характеризуется статической и динамической составляющей, где статическая составляющая представляется в графовой форме, а динамическая – в алгебраической (в виде индикаторных выражений), что делает модель неоднородной. Кроме того, сложность (а тем самым и наглядность) графового описания экспоненциально возрастает при увеличении его размерности. Следовательно, для моделирования статической составляющей имеет смысл применить алгебраическое описание, линейно зависящее от размерности агентов и сети. В книге для этого введен формальный язык слогов (Структурное Линейное Описание Графов), отображающий ориентированный граф в виде строки, составленной из символов вершин (применительно к двудольному графу – из чередующихся символов позиций и переходов) и пронумерованных вертикальных стрелок.

3.1 ЯЗЫК СЛОГОВ

Слог взаимно однозначно отображает ориентированный граф – вершины, дуги, функцию инциденций. Примем, что вершины обозначаются символами из алфавита $E = \{e_i, i = 1, \dots, n\}$, где вершина e_i – это позиция или переход. Если из вершины e_i исходят дуги, ведущие в вершины $e_{j_1}, e_{j_2}, \dots, e_{j_k}$, то первая дуга отображается последовательностью $e_i e_{j_1}$ символов в строке слога, остальные – упорядоченными парами пронумерованных вертикальных стрелок. Стрелки подразделяются на выходные, направленные вверх, и на входные, направленные вниз. Выходная стрелка проставляется справа от символа e_i , входные стрелки – слева от символов e_{j_2}, \dots, e_{j_k} . Пара стрелок, соответствующая одной дуге, нумеруется одинаковыми верхними индексами. Применительно к дуге $e_i e_{j_1}$ стрелки, находящиеся между e_i и e_{j_1} , во внимание не принимаются. Если таких стрелок несколько, то вначале проставляются подряд все выходные

стрелки, а затем подряд все входные стрелки. Справа от терминальной вершины, из которой не исходит ни одной дуги, ставится знак !. Если в слогое расположенные последовательно символы e_i , e_j не должны образовывать дугу на графе, то между ними также ставится знак !.

Алгебраическое представление слогов проиллюстрируем на примере графа, изображенного на рис. 14А:

$$(41) \quad s_1 = \downarrow^7 a_1 b_1 \downarrow^8 a_2 b_2 \uparrow^1 \downarrow^2 a_3 b_3 a_5 \uparrow^3 b_4 \uparrow^2 ! \downarrow^1 \downarrow^4 a_4 b_5 a_6 \uparrow^5 b_6 \uparrow^4 ! \downarrow^3 \downarrow^5 b_7 a_7 \uparrow^6 b_8 \uparrow^7 ! \downarrow^6 b_9 \uparrow^8$$

Следование буквы b_1 непосредственно за a_1 отображает дугу $a_1 b_1$ на графе, a_2 за b_1 – дугу $b_1 a_2$ и т.д. Цепочка чередующихся позиций и переходов в слогое завершается буквой b_6 , справа от которой стоит знак !. Другая цепочка – $b_7 a_7 b_8$. Пара «выходная стрелка – входная стрелка» с номером 1 отображает дугу $b_2 a_4$, пара стрелок с номером 2 – дугу $b_4 a_3$ и т.д.

Исходному графу соответствует множество эквивалентных слогов, отличающихся порядком букв в строке, числом и местом расположения вертикальных стрелок. Эквивалентность заключается в том, что полученные на их основе графы изоморфны. Среди слогов может быть выбран оптимальный, например, с наименьшим числом стрелок. Однако здесь такая задача не рассматривается.

Номера стрелок в слогое (41) соответствуют следующим дугам графа на рис. 14А: 1 – $b_2 a_4$, 2 – $b_4 a_3$, 3 – $a_5 b_7$, 4 – $b_6 a_4$, 5 – $a_6 b_7$, 6 – $a_7 b_9$, 7 – $b_8 a_1$, 8 – $b_9 a_2$. Непомеченные дуги отражают последовательность букв в строке слога в порядке слева направо.

Ввод слога в компьютер удобно выполнять на основе приема, позволяющего сократить число перенастроек клавиатуры: на первом шаге формируется строка из букв a_i, b_j , на втором шаге расставляются стрелки, на третьем вводятся номера стрелок.

3.2 ОПЕРАЦИИ НАД СЛОГАМИ

Рассмотрим элементарные операции над слогами, подобные тем, которые выполняются при преобразованиях на графах (раздел 2.2). Алгоритм преобразования слога состоит из следующих шагов.

1. *Формирование связок синхронизированных переходов* $b_i = \{b_i^l, \dots, b_i^k\}$, где компоненты связки срабатывают одновременно, и

только одновременно. В качестве примера рассмотрим слог (41), в котором заместим связками переходы b_2 и b_7 :

$$(42) \quad s_2 = \downarrow^7 a_1 b_1 \downarrow^8 a_2 \{b_2^1, b_2^2, b_2^3\} \uparrow^1 \downarrow^2 a_3 b_3 a_5 \uparrow^3 b_4 \uparrow^2! \downarrow^1 \downarrow^4 a_4 b_5 a_6 \uparrow^5 b_6 \\ \uparrow^4! \downarrow^3 \downarrow^5 \{b_7^1, b_7^2, b_7^3\} a_7 \uparrow^6 b_8 \uparrow^7! \downarrow^6 b_9 \uparrow^8$$

Преобразование связок. В связке выделяются компоненты, которые будут играть роль источников и стоков для подслов, образованных в результате разбиения слога на части (источники и стоки - это переходы, ведущие в подслог и из него). Стоки и источники в связке будем разделять косой чертой, слева от которой помещаются стоки, а справа – источники. Если непосредственно перед открывающей фигурной скобкой связки (после закрывающей скобки) проставлены входные (выходные) стрелки, то эти стрелки переносятся внутрь скобок, соответственно перед стоками или после источников. В слогe (42) в первой по порядку связке переход b_2^1 объявляем стоком, b_2^2, b_2^3 – источниками. Стрелку \uparrow^1 помещаем внутри скобок после источника b_2^3 , за источником b_2^2 следует буква a_3 , помещенная в строке слога справа от закрывающей скобки. Во второй связке перед открывающей скобкой проставлены входные стрелки $\downarrow^3, \downarrow^5$, которые помещаем внутри скобок перед стоками b_7^2, b_7^3 . Источник b_7^1 не имеет предшественника. В итоге получаем слог:

$$(43) \quad s_3 = \downarrow^7 a_1 b_1 \downarrow^8 a_2 \{b_2^1 / b_2^2 b_2^3 \uparrow^1\} \downarrow^2 a_3 b_3 a_5 \uparrow^3 b_4 \uparrow^2! \downarrow^1 \downarrow^4 a_4 b_5 a_6 \\ \uparrow^5 b_6 \uparrow^4! \{ \downarrow^3 b_7^2 \downarrow^5 b_7^3 / b_7^1 \} a_7 \uparrow^6 b_8 \uparrow^7! \downarrow^6 b_9 \uparrow^8$$

2. *Разбиение слога на подслоги.* Подслоги выделяются из слога на основе следующего алгоритма. В слогe фиксируются начальный и конечный символы, которые могут быть как буквой, так и стрелкой. В первом подслоге к начальному символу слога справа приписывается следующий символ. Если он является стоком данного подслога или конечным символом слога, то формирование подслога завершается. В противном случае приписывается следующий символ, и процедура повторяется. Для последующих подслов применяется тот же алгоритм с использованием в качестве начального символа соответствующего источника.

Для слога (43) получаем четыре подслога:

$$\begin{aligned}
 (44) \quad s_4^1 &= \downarrow^7 a_1 b_1 \downarrow^8 a_2 b_2^1 \\
 s_4^2 &= b_2^2 \downarrow^2 a_3 b_3 a_5 \uparrow^3 b_4 \uparrow^2! \downarrow^3 b_7^2 \\
 s_4^3 &= b_2^3 \uparrow^1 \downarrow^1 \downarrow^4 a_4 b_5 a_6 \uparrow^5 b_6 \uparrow^4! \downarrow^5 b_7^3 \\
 s_4^4 &= b_7^1 a_7 \uparrow^6 b_8 \uparrow^7! \downarrow^6 b_9 \uparrow^8
 \end{aligned}$$

Заметим, что подслоги s_4^2, s_4^3 являются замкнутыми, т.к. все стрелки ведут в тот же подслог. Для s_4^1, s_4^4 это не так, последний взаимодействует с первым по стрелкам 7 и 8. Пара расположенных рядом стрелок с номером 1 в третьем подслоге, полученная формально по алгоритму, является излишней и может быть удалена.

3. *Удаление и вставка подслогов.* В наборе подслогов (44) удаляем s_4^2 и замещаем его подслогом $s_4^5 = b_{10} a_8 b_{11} a_9 b_{12}$ с введением связей $b_{13} = \{b_2^1/b_{10} b_2^3\}$, $b_{14} = \{b_{12} b_7^3/b_7^1\}$, где b_2^1, b_{12}, b_7^3 – стоки подслогов s_4^1, s_4^5, s_4^3 , а b_{10}, b_2^3, b_7^1 – источники подслогов s_4^5, s_4^3, s_4^4 соответственно. В результате получаем преобразованный слог, дополненный указанными выше связками:

$$(45) \quad s_5 = \downarrow^7 a_1 b_1 \downarrow^8 a_2 \{b_2^1/b_{10} b_2^3 \uparrow^9\} a_8 b_{11} a_9 \uparrow^{10} ! \downarrow^9 \downarrow^4 a_4 b_5 a_6 \uparrow^5 b_6 \uparrow^4! \downarrow^5 \{ \downarrow^{10} b_{12} b_7^3/b_7^1 \} a_7 \uparrow^6 b_8 \uparrow^7! \downarrow^6 b_9 \uparrow^8$$

4. «Сшивание» связей и замещение их одним переходом. В описываемом примере слог (45) преобразуется в слог (46), которому соответствует графовый образ на рис 21.

$$(46) \quad s_6 = \downarrow^7 a_1 b_1 \downarrow^8 a_2 b_{13} \uparrow^9 a_8 b_{11} a_9 \uparrow^{10}! \downarrow^9 \downarrow^4 a_4 b_5 a_6 \uparrow^5 b_6 \uparrow^4! \downarrow^5 \downarrow^{10} b_{14} a_7 \uparrow^6 b_8 \uparrow^7! \downarrow^6 b_9 \uparrow^8$$

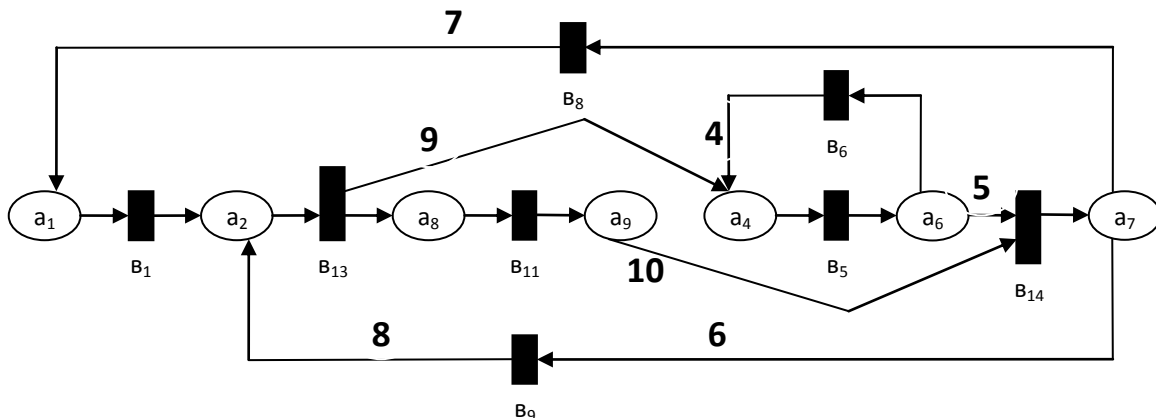


Рис.21. Графовый образ слога (46)

Заключительные замечания

Моделирование развития триадных сетей происходит в тесном взаимодействии человеческого и компьютерного факторов. Рутинные задачи выполняются компьютерами, творческие, в первую очередь принятие решений, решаются человеком. Чем в большей степени автоматизирован процесс моделирования, т.е. чем существеннее «компьютерная доля», тем больше возможностей имеет человек для решения творческих прорывных задач. В этом контексте описанный в книге «графохирургический» подход к преобразованию конфигурации сетей, базирующийся на элементарных операциях введения связок переходов, «разрезания» связок, удаления и вставки фрагментов сети, «сшивания» связок и т.д., конструктивно поддержанный алгеброй слогов, может способствовать повышению вышеупомянутой компьютерной доли.

Глава 4

ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОАГЕНТНЫХ ТРИАДНЫХ СЕТЕЙ

4.1 БАЛАНСИРОВКА РОЛЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Моделируется динамика процессов, реализуемых при исполнении ролей субъектами (агентами) организационных систем – ролевых процессов [33]. Рассмотрены условия сбалансированности ролевых процессов, исключающие возможность создания конфликтных ситуаций, например, из-за совпадения во времени несовместимых (противоречивых) событий. Излагается техника анализа сбалансированности ролевых процессов в многоагентных триадных сетях.

Особенностью организационных систем (организаций) является то, что в них доминирует «человеческий фактор», т.е. отношения между субъектами системы [8]. В качестве субъектов могут выступать как отдельные личности, так и группы, объединенные по каким-нибудь признакам. Субъекты выполняют определенные роли, где роль интерпретируется как процесс, характеризуемый триадой «цели, действия, показатели». Субъект может исполнять не одну, а несколько ролей, но не одновременно, может переходить с роли на роль, в том числе возвращаясь к прежней роли. С другой стороны, роль исполняется только одним субъектом. Таким образом, отношение «субъект – роль» соответствует категории *один к многим* 1:М, а отношение «роль – субъект» категории *один к одному* 1:1.

При функционировании организационной системы возможны конфликтные ситуации, обусловленные как отношениями между субъектами (например, различиями в интересах, ценностях, психологических стереотипах и т.д.), так и противоречиями между элементами ролевого процесса и противоречиями между элементами взаимодействующих ролевых процессов. Межсубъектные конфликты исчерпывающе отражены в конфликтологической литературе [27, 48]. Рассматривались типы конфликтов, причины их возникно-

вения, жизненные циклы протекания, способы разрешения конфликтов, негативные и позитивные последствия конфликтов, профилактика конфликтов и ряд других задач. Что касается конфликтов на уровне ролевых процессов, то эта проблема изучена еще недостаточно, возможно из-за отсутствия эффективного и наглядного формального аппарата описания и анализа ролевых процессов. Автор предпринимает попытку восполнить этот пробел с помощью методологии моделирования динамики многоагентных триадных сетей.

Во избежание конфликтных ситуаций ролевые процессы, а также отношения между ролевыми процессами, должны быть сбалансированы на уровне целей, действий и показателей:

- исключено достижение целей, противоречащих одна другой (например, при комплектовании продовольственных заказов для населения – целей «Использовать стандартные заказы» и «Формировать индивидуальные заказы»);
- исключено параллельное (одновременное) выполнение действий, использующих один и тот же ресурс, причём имеющийся запас этого ресурса обеспечивает выполнение лишь одного, но не обоих действий;
- ни один из показателей не должен выходить за установленные допустимые пределы (выход за допустимые пределы может быть следствием экспоненциального роста или убывания показателя).
- Понятия сбалансированности ролевых процессов проиллюстрированы на рис. 22-25.

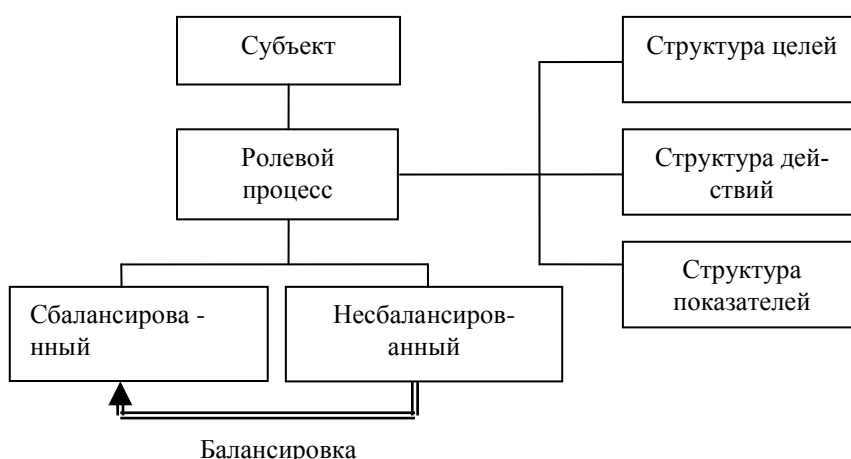


Рис 22. Иллюстрация понятий сбалансированности ролевых процессов

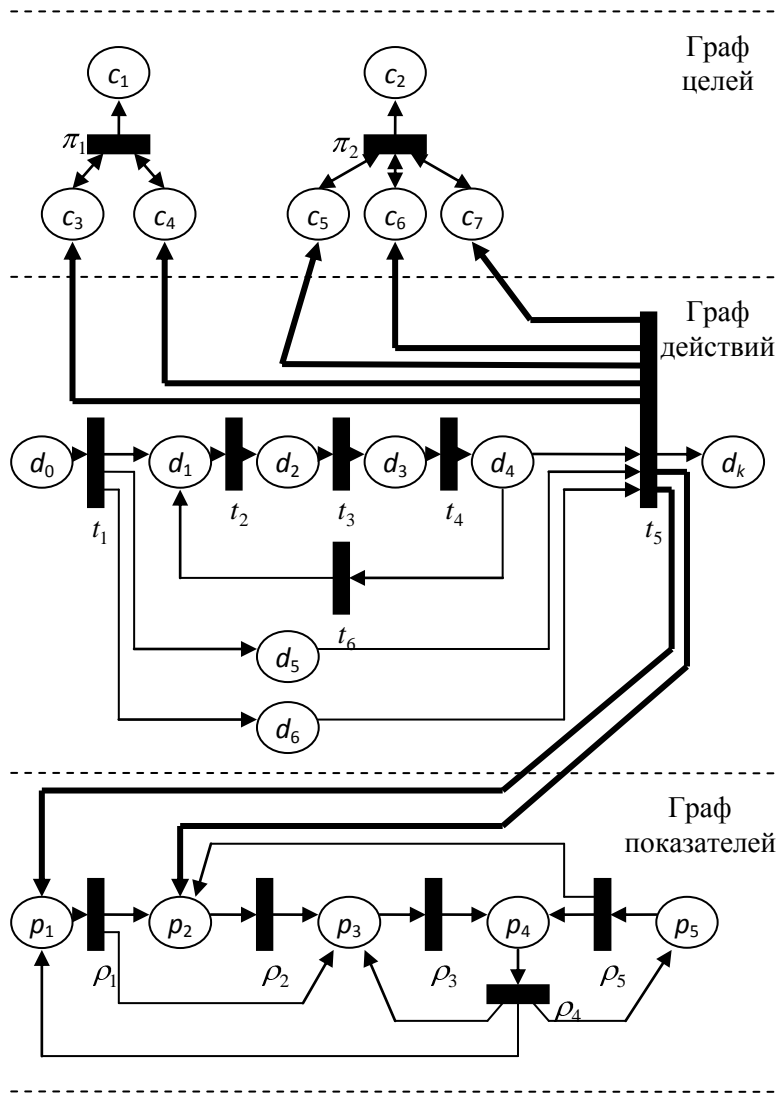


Рис 23. Графовое представление триадной модели логистического подразделения сети супермаркетов

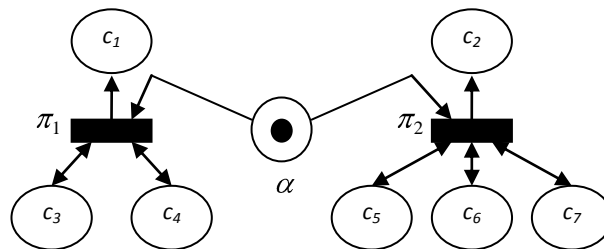


Рис. 24. Сбалансированный граф целей

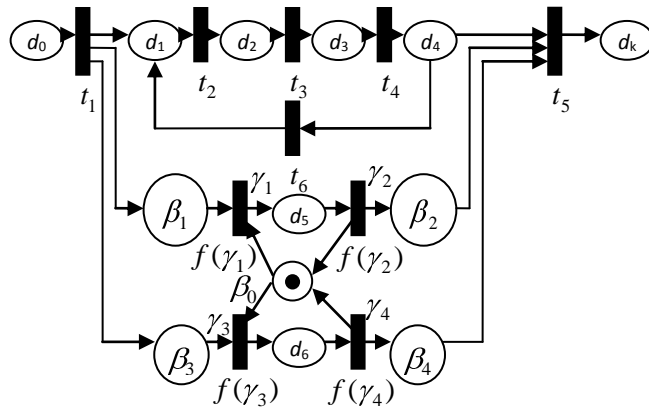


Рис. 25. Сбалансированный граф действий

В качестве примера рассмотрим триадную модель ролевого процесса «Снабжение населения продовольственными заказами», реализуемого логистическим подразделением компании «Сеть супермаркетов».

Ролевой процесс заключается в следующем. Ежедневно на интернет-сайт компании (либо по телефону) от клиентов поступают заказы на следующий день. Клиенту сообщается, в каком магазине и в какое время он может получить заказ. Данные о заказах пересылаются на склад компании и в магазины. На складе комплектуются заказы, контейнеры с заказами, адресуемые магазинам, и транспортные контейнерные партии, загружаемые в автомашины. Каждая автомашина развозит свою партию по соответствующим магазинам, совершая до 8.00 ч. следующего дня несколько транспортных циклов.

Содержание целей, действий и показателей рассматриваемого процесса дано соответственно в табл. 3, 4, 5, графовое представление триадной модели логистического подразделения как агента сети – на рис. 23.

Индикаторные выражения, дополняющие графовое представление на рис. 23 (продукции, помечающие переходы), проиллюстрируем на примере графа действий.

$$(47) \Phi(t_1): \text{ЕСЛИ}(v_1=1) \& (d_0=1) \& (\tau_1^* \leq 2) \& (c_3=0) \& \dots \& (c_7=0) \& (p_1 \geq 2) \& (p_2 \geq 2) \rightarrow \text{ГО}(d_0=0) \& (d_1=1) \& (d_5=1) \& (d_6=1).$$

Таблица 3. Содержание целей ролевого процесса

| | |
|-------|--|
| c_1 | снизить на 20% себестоимость услуг, предоставляемых компанией населению |
| c_2 | модернизировать технологию комплектации заказов (для этого вложить 20 млн. руб. в технологические инновации) |
| c_3 | сократить вдвое время комплектации заказов на складе компании |
| c_4 | доставлять контейнеры с заказами в магазины не позже 8.00 ч следующего дня после получения заказа |
| c_5 | закупить эффективные средства механизации и автоматизации складских работ |
| c_6 | провести обучение персонала |
| c_7 | закупить пять дополнительных автомашин для доставки заказов |

Таблица 4. Содержание действий ролевого процесса

| | |
|-------|--|
| d_0 | начало процесса моделирования |
| d_1 | прием по телефону/интернету заявок на заказы |
| d_2 | комплектация на складе партии контейнеров с заказами |
| d_3 | комплектация автомашин |
| d_4 | доставка контейнеров в магазин |
| d_5 | анализ положения компании на рынке |
| d_6 | стратегическое планирование |
| d_k | конец процесса моделирования |

Таблица 5. Содержание показателей ролевого процесса

| | |
|-------|---|
| p_1 | уровень капитализации компании |
| p_2 | доля на рынке |
| p_3 | сроки окупаемости инвестиций |
| p_4 | оборот компании |
| p_5 | потери из-за сбоев (нарастающим итогом) |

Приведенная ИЛФ отражает ситуацию: если подано внешнее воздействие v_1 , заданы начальные условия, временная задержка срабатывания перехода t_1 не превышает двух единиц, не достигнута ни одна из подцелей c_3, \dots, c_7 , уровень p_1 капитализации компании и

ее доля на рынке p_2 выше минимального допустимого значения, то запускаются действия приема заказов d_1 , мониторинга положения компании на рынке d_5 , стратегического планирования d_6 . Подобным же образом составляются индикаторные выражения для остальных переходов графа действий:

$$(48) \Phi(t_2): \text{ЕСЛИ}(d_1=1)\&(d_2=0)\&(\tau_2^* \leq 4) \rightarrow \text{ТО}(d_1=0)\&(d_2=1),$$

$$(49) \Phi(t_3): \text{ЕСЛИ}(d_2=1)\&(d_3=0)\&(\tau_3^* \leq 4) \rightarrow \text{ТО}(d_2=0)\&(d_3=1),$$

$$(50) \Phi(t_4): \text{ЕСЛИ}(d_3=1)\&(d_4=0)\&(\tau_4^* \leq 4) \rightarrow \text{ТО}(d_3=0)\&(d_4=1),$$

$$(51) \Phi(t_5): \text{ЕСЛИ}(v_2=1)\&(d_4=1)\&(d_5=1)\&(d_6=1)\&(\tau_5^* \leq 4) \rightarrow \text{ТО}(d_4=0) \\ \&(d_5=0)\&(d_6=0)\&(c_3=1)\&(c_4=1) \\ \&(c_5=1)\&(c_6=1)\&(c_7=1)\&(p_1(\tau+1)=p_1(\tau)+1)\&(p_2(\tau+1)=p_2(\tau)+1),$$

где v_2 – внешнее условие завершения процесса моделирования.

$$(52) \Phi(t_6): \text{ЕСЛИ}(v_2=0)\&(d_4=1)\&(d_1=0)\&(\tau_6^* \leq 4) \rightarrow \text{ТО}(d_4=0) \\ \&(d_1=1)$$

Толстые дуги на рис. 23 отображают воздействия графа действий на графы целей и показателей, стрелки с двумя концами – пары стрелок «туда и обратно». Балансировка триадной модели (рис. 23) производится на всех уровнях – целей, действий и показателей.

Балансировка графа целей. Пусть в графе целей имеются несовместимые цели, противоречащие одна другой, и достижима маркировка (состояние), в которой присутствуют обе цели. На рис. 23 это цели c_1, c_2 , где первая предусматривает снижение себестоимости услуг, предоставляемых компанией клиентам, а вторая – дополнительные инвестиции в модернизацию технологии комплектации, которые приведут к увеличению себестоимости услуг. Балансировка графа целей заключается в исключении достижимой в нем маркировки, содержащей c_1 и c_2 .

Сбалансированный граф целей дан на рис. 24. В него введена маркированная позиция – «арбитр» α . Тот из переходов π_1, π_2 , который сработает первым, удаляет маркер из арбитра, и это исключает возможность срабатывания другого перехода. Таким образом, предотвращена конфликтная ситуация, имеющая место на рис. 23. Кроме того, в результате моделирования подтверждён факт

того, что требование о достижении обеих целей $c_1 = 1$, $c_2 = 1$, заложенное в первоначальную модель, было ошибочным.

Балансировку графа действий рассмотрим на примере действий d_5 «Анализ положения компании на рынке» и d_6 «Стратегическое планирование», которые согласно рис. 23 реализуются параллельно. Примем, что d_5 и d_6 осуществляются одним и тем же экспертом-аналитиком, т.е. имеют общий кадровый ресурс. Эксперт реально может выполнять эти действия только последовательно в произвольном порядке. Трансформируем граф действий в сбалансированный граф, показанный на рис. 25. В него введены маркированная позиция-арбитр β_0 , и для каждого из действий d_5, d_6 – предшествующая и последующая позиции (β_1, β_2 и β_3, β_4 соответственно) и входной и выходной переходы (γ_1, γ_2 и γ_3, γ_4). В маркировке $\beta_1 = 1$, $\beta_3 = 1$ активированы оба входных перехода γ_1 и γ_3 . Выбор одного из них определяется условием $f(\gamma_1) = 1$ или $f(\gamma_3) = 1$ (при ограничении $f(\gamma_1) \& f(\gamma_3) \equiv 0$). Выбранный переход срабатывает, запуская соответствующее действие и забирая маркер из позиции-арбитра β_0 . При срабатывании выходного перехода, определяющего окончание запущенного действия, маркер возвращается в позицию-арбитра, и описанный процесс повторяется уже применительно к другому действию. Параллельное выполнение действий в сбалансированном графе заменено последовательным в порядке, определяемом разрешающими условиями $f(\gamma_1), f(\gamma_3)$

Балансировка графа показателей направлена на удержание показателей p_i в допустимом диапазоне значений $[p_i^{\max}, p_i^{\min}]$. В нашем примере (рис. 23 и индикаторные выражения, подобные (26), (27), (29) в разделе 1.3) если уровень капитализации компании p_1 и ее доля на рынке p_2 падают, то сроки окупаемости инвестиций p_3 растут. При достижении критического значения p_3^{\max} рост p_3 должен быть остановлен. Это обеспечивается введением в условия индикаторных выражений для входных переходов позиции p_3 графа показателей на рис 23 индикатора ($p_3 < p_3^{\max}$):

$$(26^*) \text{ П}(\rho_1): \text{ЕСЛИ } (p_1(\tau) \leq 2) \& (p_3(\tau) < p_3^{\max}) \rightarrow \\ \text{ТО } (p_2(\tau+1) = p_2(\tau) + 1) \& (p_3(\tau+1) = p_3(\tau) + 0,5)$$

$$(27^*) \text{ П}(\rho_2): \text{ЕСЛИ } (p_2(\tau) \leq 4) \& (p_3(\tau) < p_3^{\max}) \rightarrow \\ \text{ТО } (p_3(\tau+1) = p_3(\tau) + 0,5)$$

(29*) $\Pi(\rho_4)$: ЕСЛИ $(p_4(\tau) \leq 4) \& (p_3(\tau) < p_3^{\max}) \rightarrow \text{ТО } (p_1(\tau+1) = p_1(\tau) - 0,5) \& (p_3(\tau+1) = p_3(\tau) + 0,5) \& (p_5(\tau+1) = p_5(\tau) - 0,5)$

Заключительные замечания

Проведенные анализ и балансировка ролевых процессов на основе триадной модели позволяют не только исключить некоторые типы конфликтных ситуаций, но и лучше понять, как функционирует организационная система и каковы пути ее дальнейшего совершенствования. Поясним это на рассмотренном примере «Снабжение населения продовольственными заказами».

Несовместимость целей «Снижение себестоимости» и «Модернизация технологии комплектации заказов» порождает сомнение в том, являются ли эти цели главными ориентирами для ролевого процесса, обоснованно ли они выбраны в качестве итоговых? Не правильней ли было бы считать их промежуточными, а в качестве итоговых принять финансовую цель «Повышение прибыли компании» и социальную цель «Расширение спектра услуг, предоставляемых компанией клиентам»?

На основе анализа первичной модели (рис. 23) было установлено, что параллельное выполнение действий «Анализ положения компании на рынке» и «Стратегическое планирование» при существующих кадровых ресурсах невозможно. Поэтому была проведена балансировка ролевого процесса (рис. 25), определяющая переход к последовательному выполнению указанных действий. Однако это вызовет увеличение общей длительности процесса (от срабатывания перехода t_1 до срабатывания t_5). В то же время узкое место при параллельном выполнении может быть «расширено» путем привлечения в компанию дополнительного эксперта-аналитика. Что же выгодней?

Условием реализуемости сбалансированного графа показателей является ускорение окупаемости инвестиций, наблюдаемое в виде уменьшения значений показателя p_3 . Ускорение может быть достигнуто введением управления ролевым процессом:

- организацией постоянного мониторинга уровня окупаемости инвестиций;

- при тенденции к росту p_3 мерами по повышению спроса на услуги среди потенциальных клиентов (эффективная реклама, введение новых услуг, например, доставки заказов на дом и т.д.).

4.2 ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЛОЖНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Излагается аппарат триадного имитационного моделирования систем с дискретным управлением на упрощенном примере типовой электростанции (ЭС). Станция состоит из нескольких параллельно работающих энергоагрегатов. На фиксированном временном интервале часть агрегатов вырабатывает электроэнергию, остальные находятся в резерве либо на них проводятся профилактические мероприятия. Агрегат состоит из турбины (паровой или гидравлической) и электрогенератора, приводимого в действие турбиной. Дискретное управление ЭС обеспечивает изменение режима или останов агрегата при критической ситуации (например, выходе некоторых показателей за допустимые границы) и запуск резервного агрегата при необходимости повысить производительность ЭС.

Далее приводятся:

- список переменных триадной модели ЭС;
- граф целей ЭС;
- граф действий агрегата ЭС;
- методика моделирования динамики функционирования ЭС, представленная в виде временных диаграмм.

Переменные модели

Цели для ЭС:

- c_1 - обеспечение нормальной бесперебойной работы ЭС;
- c_2 - достижение проектной производительности ЭС;
- c_3 - обеспечение безопасности ЭС;
- c_4 - исключение резкого падения выработки энергии;
- c_5 - исключение "пикового" роста подачи энергии;
- c_6 - ограничение роста температуры в подшипниковых узлах всех агрегатов ЭС;
- c_7 - ограничение радиального биения ротора для всех агрегатов ЭС.

Действия применительно к энергоагрегату:

- d_1 - регулярный контроль показателей;
- d_2 - принятие решения об изменении (сохранении) режима работы агрегата;
- d_3 - останов агрегата;
- d_4 - запуск резервного агрегата;
- d_5 - форсирование режима работающего агрегата;
- d_6 - проверка, ремонт и наладка выведенного из работы агрегата.

Показатели агрегата:

- p_1 - степень открытия заслонки для рабочей среды (норма - заслонка закрыта: $p_1 = 0$);
- p_2 - число оборотов в минуту ротора турбины (норма - ротор не вращается: $p_2 = 0$);
- p_3 - выработка энергии агрегатом (норма - агрегат отключен: $p_3 = 0$);
- p_4 - температура в подшипниковом узле ротора (норма - допустимый диапазон значений, кодируемый как $p_4 = 0$);
- p_5 - биение (радиальное) ротора (норма - отсутствие биения: $p_5 = 0$).

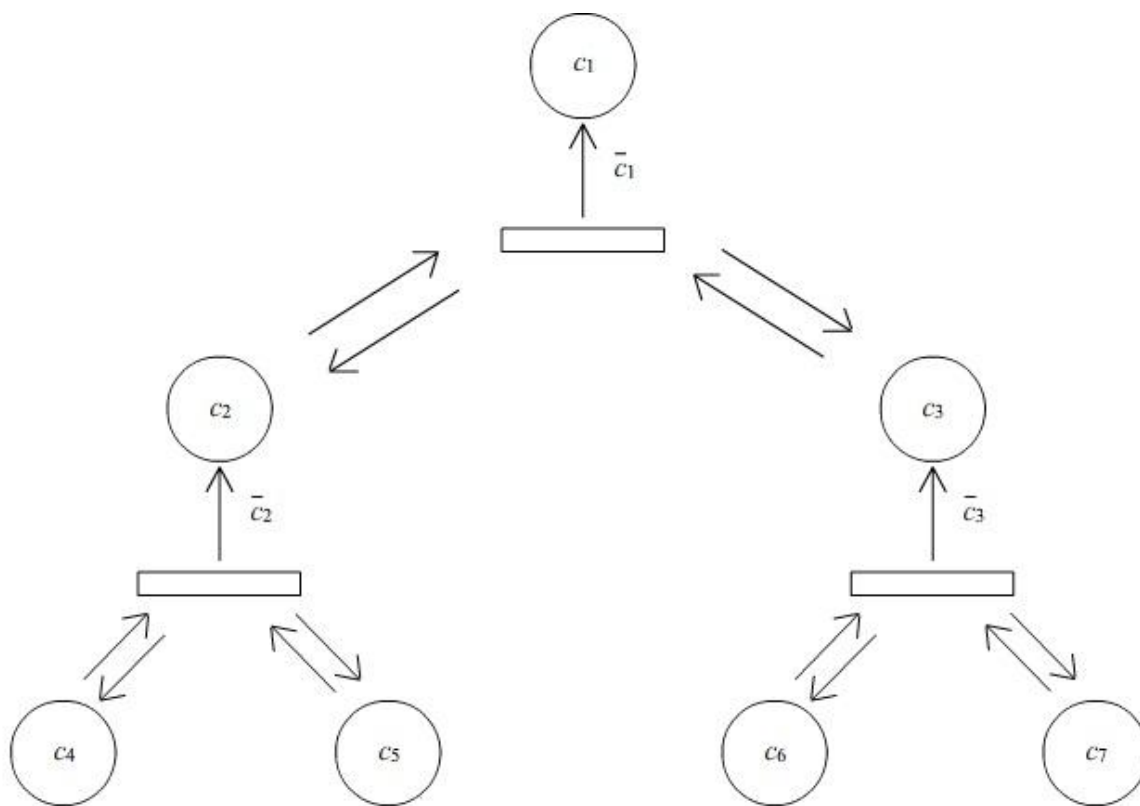


Рис. 26. Граф целей ЭС

Динамика целей ЭС проверяется в каждом такте на временном интервале моделирования. В начальный момент такта все целевые позиции полагаем пустыми. Маркер вносится в позицию c_4 , если суммарная выработка энергии всеми агрегатами $P = \sum_i p_{3i}$ не меньше нижней границы проектной производительности ЭС P_{\min} . В позицию c_5 маркер попадает при отсутствии превышения верхней границы P_{\max} .

В позиции c_6, c_7 вносится по маркеру, если во всех работающих агрегатах соответственно температура в подшипниковых узлах и радиальное биение ротора не превышают максимально допустимых значений.

Наличие маркеров в начальных позициях c_4, c_5 вызывает появление маркера в c_2 , а наличие маркеров в c_6, c_7 - в c_3 . Маркирование c_2, c_3 приводит к внесению маркера в c_1 .

В следующем такте процедура повторяется. Маркирование начальных целевых позиций определяется динамикой графа показателей.

Результатом моделирования целеполагания является линейный график достижения целей ЭС на заданном временном интервале. Пример графика дан на рис. 27. Такты, на которых цели c_i достигнуты, заштрихованы. Линейный график (диаграмма) достижения целей строится непосредственно по графу целей

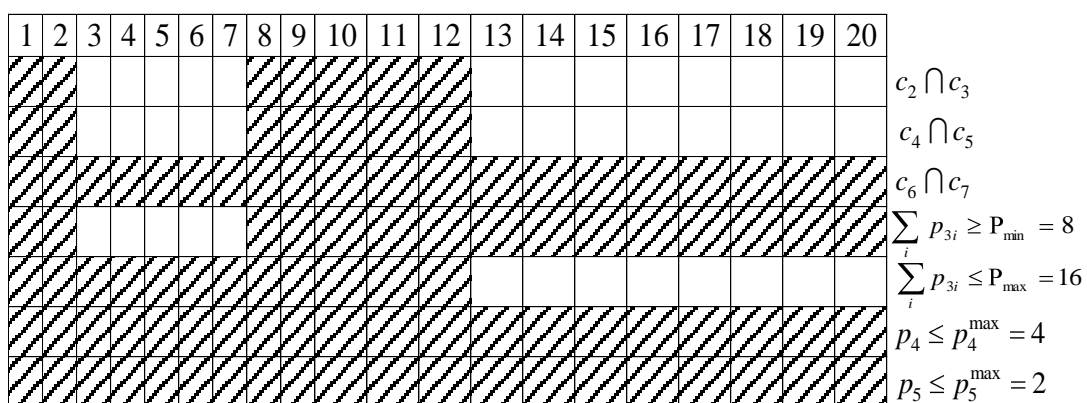


Рис 27. Диаграмма достижения целей ЭС

Пример графа действий для агрегата ЭС дан на рис. 28. Для упрощения временные задержки переходов t_1, \dots, t_9 на рис. 28 не указаны. Логические условия r_1, r_2, r_3, r_4 , соотнесенные переходам

t_2, t_3, t_4, t_5 , помечают выходные дуги позиции d_2 . Условия r_i определяют все альтернативы при выполнении действия d_2 . – принятия решения о дальнейшей работе агрегата: r_1 - повторный контроль показателей, r_2 - останов агрегата, r_3 - запуск резервного агрегата, r_4 - форсирование режима.

Условия выражаются следующими логическими формулами с применением кванторов общности \forall и существования \exists :

$$r_1 = \forall i, \tau (\sum_i p_{3i}(\tau) \geq P_{\min}) \& (p_{4i}(\tau) \leq p_4^{\max}) \& (p_{5i}(\tau) \leq p_5^{\max}),$$

$$r_2 = \exists i, \tau (\sum_i p_{3i}(\tau) \geq P_{\min}) \& ((p_{4i}(\tau) > p_4^{\max}) \vee (p_{5i}(\tau) > p_5^{\max})),$$

$$r_3 = \exists i, \tau (\sum_i p_{3i}(\tau) < P_{\min}) \& (p_{2i}(\tau) < p_2^{\min}),$$

$$r_4 = \exists i, \tau (\sum_i p_{3i}(\tau) < P_{\min}) \& (p_{2i}(\tau) \geq p_2^{\min}),$$

где p_2^{\min} - минимально допустимое число оборотов ротора турбины, τ – дискретное время.

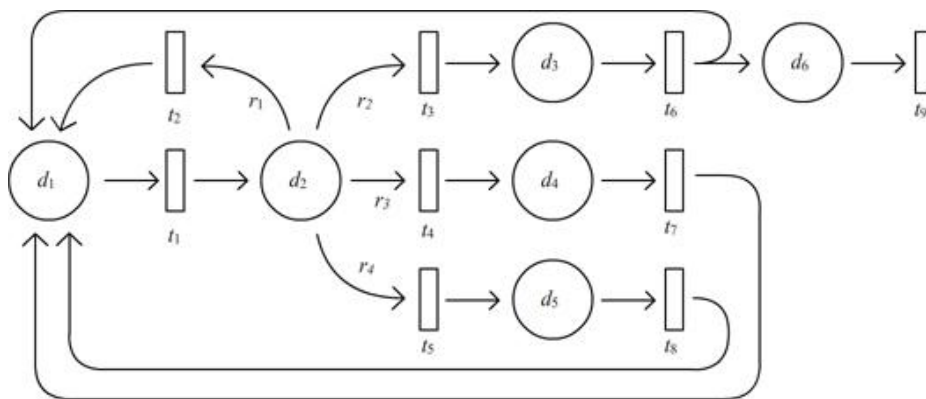


Рис. 28. Граф действий агрегата ЭС

Результаты моделирования динамики действий и показателей выражаются временной диаграммой (рис. 29).

В верхней строке диаграммы указаны такты на горизонте моделирования. Жирными точками отмечены моменты смены действий. Во второй сверху строке даны переходы графа действий, осуществляющие эту смену. Ниже на диаграмме размещены два яруса – действий и показателей. В верхнем ярусе в строке d_i заштрихованы

клетки, соответствующие выполнению действия d_i . В нижнем ярусе в строке P_i даны значения отклонений показателя, взятые для соответствующего такта из ленты отклонений (раздел 1.1). Вертикальные стрелки над диаграммой соответствуют логическим условиям переходов графа действий. Строка под диаграммой отражает динамику суммарной выработки энергии всеми агрегатами на горизонте моделирования, состоящем из N тактов.



Рис. 29. Временная диаграмма агрегата ЭС

В примере на рис. 29 принято $P_{\min} = 8$, $P_{\max} = 16$, $p_2^{\min} = 5$, $p_4^{\max} = 4$, $p_5^{\max} = 2$. В тактах $\tau = 0, 1, 2$ в агрегате отклонение показателя p_5 (биение ротора) выше критической отметки, и при завершении действия d_2 выполняется условие r_2 , приводящее к его останову. В ярусе показателей диаграммы в такте $\tau = 3$ во все клетки вписываются нули (выделено жирной рамкой). В течение тактов $\tau = 4, \dots, 8$ производится проверка, ремонт и наладка данного агрегата, работают остальные агрегаты. После устранения неисправностей агрегат повторно запускается в такте $\tau = 10$ (вторая жирная рамка в ярусе показателей на рис. 29). Временная диаграмма динамики достижения целей ЭС была дана ранее на рис 27.

Заключительные замечания

В примере проиллюстрировано описание динамики сети, в которой действия могут иметь несколько исходов (последствий), определяющих дальнейшее поведение сети. Множество всех исходов известно, альтернативный выбор исхода производится верхним уровнем управления (в нашем случае – системным архитектором).

В сложных реальных сетях могут иметь место дополнительные сложности. Во-первых, в анализируемой модели не отражены некоторые возможные исходы действий, выявление которых и является одной из основных задач имитационного моделирования. Во-вторых, выбор варианта исхода действий производится как самим агентом, так и системным архитектором. Агент исходит из своего опыта, знаний, кратковременных и долгосрочных целей, системы ценностей. Системный архитектор принимает решения на основе оценки общей ситуации в сети и ее окружении, руководствуясь своими целями и ценностями. Таким образом, имеют место два решения, которые должны быть сбалансированы. Вопросы сбалансированности «интеллекта агентов» и «управленческих решений сверху», в первую очередь в социально-экономической сфере, изучены еще недостаточно и должны стать предметом дальнейших разработок.

4.3. БИНАРНЫЕ ИГРЫ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Одним из распространенных видов взаимодействий в системах различного назначения (социальных, экономических, политических, техногенных и т.д.) являются игры с двумя участниками – бинарные игры. Проведению игры, как правило, предшествует ее моделирование, в ходе которого исследуются возможные варианты развития ситуации в системе и формируется сценарий игры. Моделирование выполняется системным аналитиком, который играет за обоих участников, и либо выбирает вариант сценария, выгодный одному из них, либо завершает игру «вничью» с обоюдным выигрышем (проигрышем) участников.

Эффективность моделирования бинарных игр зависит от используемого формального аппарата – техники моделирования, которая должна сочетать наглядность с высокой информативностью.

Примером такой техники могут служить когнитивные карты (знаковые графы) [20,25], аппарат графодинамики, оперирующий переменными в виде графов и отношениями (функциями), определенными на графах [3]. С точки зрения наглядности и информативности, наиболее эффективна, по нашему мнению, графодинамическая техника.

В рамках графодинамики бинарных игр отметим рассмотренный в [27] графический способ описания взаимного отношения участников (субъектов) игры и отношения субъектов к доминантным внешним факторам в виде так называемых знаковых структур (s-структур). В терминах s-структур в [27] промоделированы стандартные бинарные игры - позиционные дилеммы сотрудничества, доверия, сдерживания, искушения, угрозы, вины, изучавшиеся в теории драмы [48] – расширении теории игр.

В работе [44] предлагалось интегрировать технику s-структур и технику конечных автоматов: моделировать игру автоматом, состояниям которого сопоставлены s-структуры.

Раздел 4.3 книги является развитием [44] и посвящен совместному применению при моделировании бинарных игр техники s-структур и техники, определяемой триадным подходом [45]. Ниже используются новые графические формализмы:

- граф целедействий (ГЦД), интегрирующий два базовых компонента триадной модели;
- линейный сценарий поведения субъекта игры, формируемый по ГЦД;
- бинарная сценарная связка, моделирующая взаимодействие субъектов игры.

Описание формализмов дано в последующих разделах примера. Изложение иллюстрируется примером бинарной игры, ведущейся между властями и террористами при теракте. Группа террористов захватила заложников и в обмен за их освобождение требует выполнения своих условий. В противном случае угрожает казнить заложников. Субъекты бинарной игры - власти (В) и террористы (Т), доминантный фактор для властей – жизнь заложников (З), для террористов – выдвинутые ими условия (У).

Структура бинарной игры в терминах введенных формализмов дана на рис. 30, а ГЦД субъектов – на рис. 31 и рис. 32.

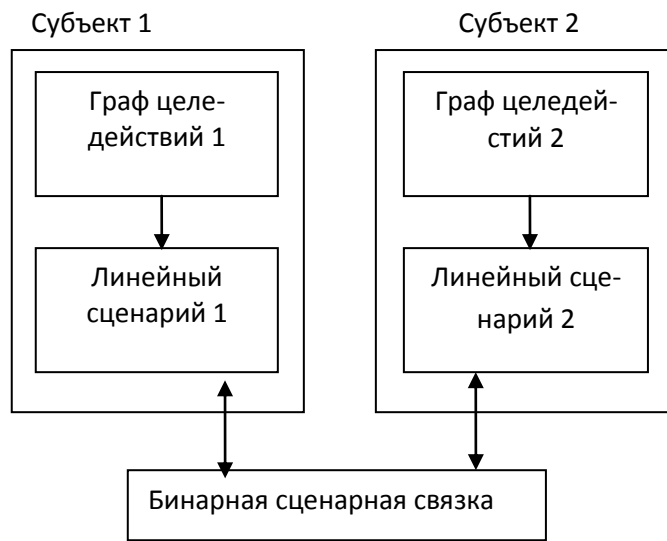


Рис 30. Структура бинарной игры

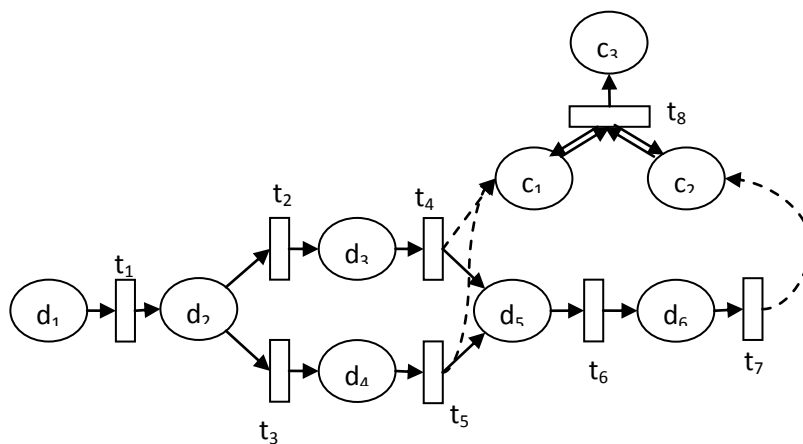


Рис 31. ГЦД субъекта 1 – власти

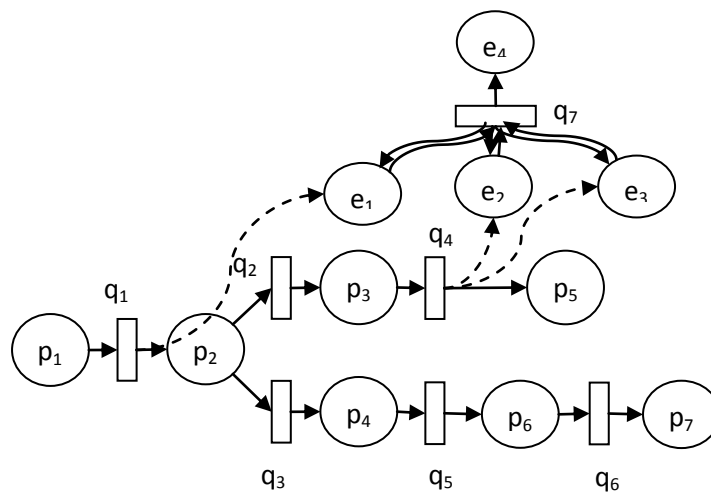


Рис. 32. ГЦД субъекта 2 - террористов

ГЦД представляет собой сеть Петри [16, 22] – двудольный ориентированный граф с двумя компонентами связности (подсетями), моделирующими соответственно процесс достижения целей и инициированный этими целями процесс последовательно – параллельного выполнения действий субъектами игры.

Сеть должна быть «живой» (любое ее неконечное состояние, достижимое из начального состояния, не является тупиковым) и «безопасной» (в любом достижимом состоянии в любой позиции содержится не более одного маркера).

Методы проверки живости и безопасности сетей Петри достаточно полно освещены в литературе [16, 22]. Взаимодействие подсетей ГЦД на рис. 31, 32 изображено пунктирными стрелками.

Цели власти:

- c_1 – сохранение жизни заложников;
- c_2 – наказание террористов;
- c_3 – устранение последствий теракта.

Действия власти:

- d_1 – подготовка к силовому освобождению заложников;
- d_2 – переговоры с террористами;
- d_3 – достижение соглашения о мирном освобождении заложников;
- d_4 – силовое освобождение заложников (штурм);
- d_5 – арест террористов;
- d_6 – следствие и суд.

Цели террористов:

- e_1 – привлечение внимания к проблеме, в решении которой заинтересованы террористы (например, освобождение сообщников из тюрем, получение денежного выкупа и т.д.);
- e_2 – частичное решение проблемы, устраивающее террористов;
- e_3 – минимизация наказания;
- e_4 – политический эффект теракта.

Действия террористов:

- r_1 – захват заложников;
- r_2 – предъявление требований к властям;
- r_3 – мирное освобождение заложников;

- p_4 – ультиматум властям с угрозой уничтожения заложников;
- p_5 – сдача властям;
- p_6 – реализация угрозы заложникам;
- p_7 – вооруженное сопротивление при штурме.

Дадим некоторые пояснения к ГЦД на рис. 31. Действия властей начинаются с подготовки к штурму независимо от исходов переговоров (маркер в позиции d_1). Начало переговоров отмечается перемещением маркера в позицию d_2 при срабатывании перехода t_1 . Позитивный исход переговоров моделируется переходом t_2 , который передает маркер в позицию d_3 и далее, при срабатывании t_4 , маркеры вносятся в позицию действия d_5 и целевую позицию c_1 . Переход t_6 передает маркер в позицию d_6 , а переход t_7 – в позицию c_2 . Неудача переговоров властей с террористами моделируется срабатыванием t_3 , внесением маркера в d_4 и далее при срабатывании t_5 в c_1 , d_5 , затем последовательно в d_6 и c_2 . Наличие маркеров в целевых позициях c_1 , c_2 инициирует переход t_8 , который срабатывает (если его выходная позиция c_3 пуста, т.е. $c_3 = 0$) и вносит маркер в c_3 . Наличие двух стрелок «туда и обратно», соединяющих c_1 , c_2 и t_8 , говорит о том, что после срабатывания t_8 маркеры остаются в позициях c_1 , c_2 . Повторное срабатывание t_8 исключено, т.к. $c_3=1$.

ГЦД на рис. 32 подобным образом моделирует возможные варианты поведения террористов.

Линейный сценарий поведения субъекта игры

Сценарий субъекта моделируется линейным графом, формируемым на основе ГЦД. Вершины сценарного графа соответствуют действиям (позициям), дуги – переходам двудольного графа. Каждому действию сопоставляется s-структура, выражаемая графом отношений: субъекта 1 к субъекту 2 и наоборот, а также обоих субъектов к доминантному внешнему фактору (факторам). Субъектам игры могут соответствовать как одинаковые, так и разные факторы. Отношение может быть нейтральным (отсутствие на графе отношений соответствующей дуги), позитивным (сплошная дуга) и негативным (пунктирная дуга).

Вершины сценарного графа условимся изображать в виде квадратов, внутрь которых помещать графы отношений, а стрелками, примыкающими к верхней стороне квадрата, показывать цели, достигнутые при выполнении действия. Определенный таким образом

ом линейный сценарий поведения субъекта игры отображает реализуемую им последовательность действий, динамику отношений и динамику достижения целей в процессе реализации этой последовательности.

В рассматриваемом примере (рис. 31, 32) возможны два линейных сценария поведения обоих субъектов игры – жесткий и мягкий. Жесткие сценарии для властей и террористов приведены на рис 33.

S-структуры, помещенные внутрь квадратов, отображают видение отношений соответствующим субъектом. При подготовке силового освобождения (действие d_1) власти исходят из доминанты спасения заложников и относятся к террористам как к врагам. Они учитывают также негативное отношение (озлобленность) террористов по отношению к ним и заложникам. На стадии переговоров (действие d_2) власти и террористы вынуждены относиться друг к другу как к партнерам, для властей доминирует спасение заложников, террористы относятся к заложникам нейтрально. При силовом освобождении (действие d_4) субъекты, естественно, выступают как враги, спасение заложников доминантно, хотя их жизнь (достижение цели c_1) не может быть полностью гарантирована. При аресте террористов, проведении следствия и суде (действия d_5, d_6) имеют место только отношения между субъектами, отношение к заложникам нейтрально. В результате действия d_6 достигаются цели c_2, c_3 .

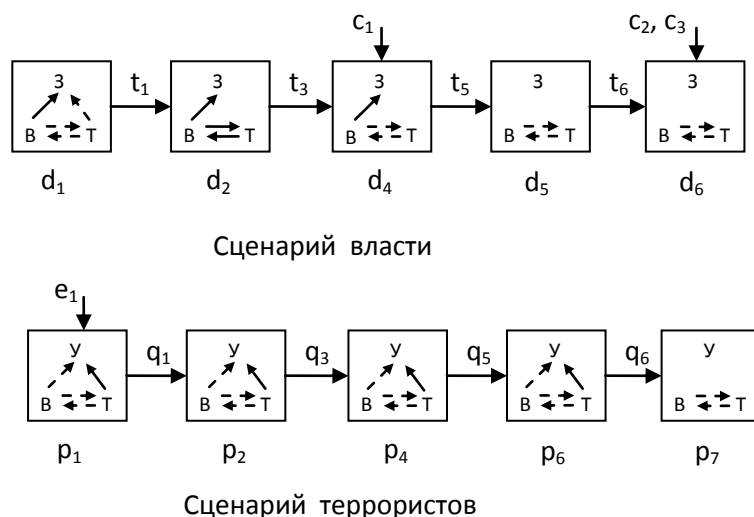


Рис 33. Линейные сценарии субъектов игры

В сценарии на рис. 33, каким он видится террористам, все действия, кроме конечного p_7 , характеризуются одинаковым отно-

шением между субъектами и субъектов к доминантному фактору У (условия террористов). При сопротивлении во время штурма (действие p_7) отношение к У нейтрально.

Бинарная сценарная связка

Бинарная сценарная связка позволяет совместно рассмотреть выбранные сценарии субъектов игры и установить между ними ограничительные отношения путем регламентации длительности действий. Например, из рис. 33 видно, что заложников необходимо освободить (действие d_4), прежде чем террористы успеют привести в исполнение свои угрозы (действие p_7). Но террористы выдвигают ультиматум с определенной задержкой τ_1 после начала переговоров, а приступают к исполнению угроз с задержкой τ_2 после предъявления ультиматума. Величина τ_1 и τ_2 определяется представлением террористов о степени успешности переговоров. Пусть τ_3 – минимальное время, необходимо властям для подготовки штурма.

Для того чтобы имело место $\tau_1 + \tau_2 > \tau_3$ необходимо, помимо ускорения подготовки штурма – уменьшения τ_3 , увеличивать $\tau_1 + \tau_2$ путем затягивания переговоров и создания у террористов впечатления об их успешности.

Заключительные замечания

В примере на понятийном уровне изложен подход к графо-динамическому моделированию бинарных игр. В рамках подхода для каждого субъекта игры формируется граф целедействий, на основе которого выявляются все возможные линейные сценарии поведения этого субъекта (предполагается, что граф целедействий не содержит циклов и, следовательно, число сценариев ограничено). Далее отбираются все пары совместимых по смыслу сценариев субъектов, образующие сценарные связки. В нашем примере совместимы два жестких и два мягких сценария, но не совместимы жесткий с мягким. Для каждой связки анализируется развитие ситуации и, если это необходимо, вводятся ограничительные отношения.

Дальнейшее развитие подхода должно предусматривать, в частности, моделирование самоорганизации бинарной игры. Сценарная связка при этом формируется в процессе игры: очередной ход

субъекта (переход на графе целедействий) выбирается из множества возможных и зависит от предыдущего хода (последовательности ходов) противника и от внешнего воздействия на систему. В модели самоорганизующейся бинарной игры переходы графа целедействий дополнительно помечаются («нагружаются») логическими и, возможно, вероятностными функциями.

4.4 ТРИАДНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ МГУ им Ломоносова до 2020 года

Программа развития МГУ им Ломоносова как флагмана Российской высшей школы (далее - Программа) одобрена распоряжением Правительства РФ от 27.09.2010 г. №1617-р и опубликована в Интернет-банке данных «Нормативные документы Правительства Российской Федерации» по адресу <http://government.consultant.ru/page.aspx?8411;1524284>. Финансирование реализации Программы намечено осуществлять примерно в равных долях из Госбюджета и внебюджетных источников. В примере рассмотрена укрупненная схема конфигурации многоагентной сети внебюджетного финансирования развития МГУ с привлечением фонда целевого капитала, управляющей компании и спонсоров, а также даны фрагменты триадной модели Программы – описание графов целей, приоритетных направлений деятельности (действий), некоторых показателей деятельности МГУ. Графы дополнены индикаторными логическими выражениями.

Конфигурация сети внебюджетного финансирования

Для внебюджетного финансирования Программы помимо средств от приносящей доход деятельности МГУ используются средства специализированной организации управления целевым капиталом «Фонд развития МГУ» (далее - фонд), который учреждается университетом как юридическим лицом. Функцией фонда является приобретение, сохранение и приумножение финансовых средств, используемых для управления деятельностью университета в приоритетных направлениях, его развития и совершенствования, а также достижения других целей. Фонд возглавляет и контролирует совет директоров (наблюдательный совет), состоящий из признанных авторитетных ученых России. Схема взаимодействия фонда с другими агентами сети показана на рис. 34. Совет директоров фонда

принимает решения о заключении (и расторжении) договоров с управляющей компанией и привлекает спонсоров.

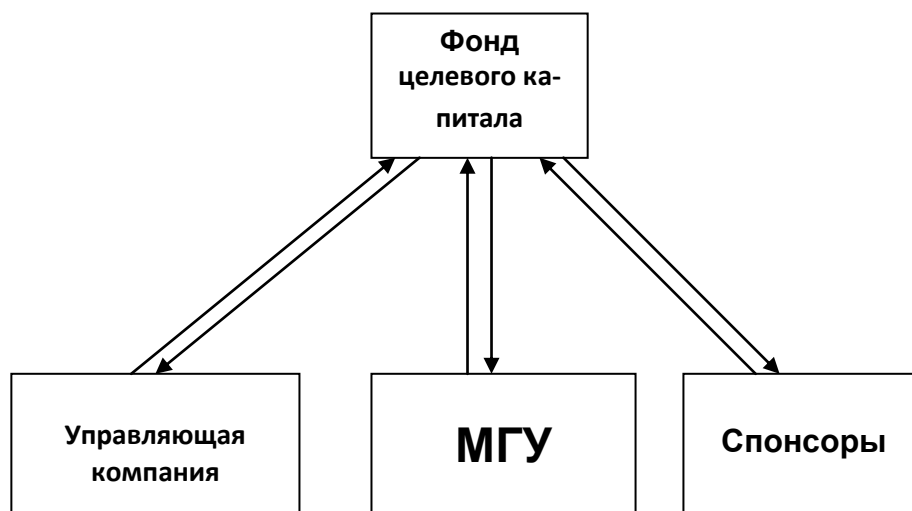


Рис. 34. Конфигурация сети, выполняющей внебюджетное финансирование развития МГУ через фонд целевого капитала

Инвестиционные резервы (активы) фонда передаются в доверительное управление управляющей компании, на имя которой открывается счет с указанием того, что компания действует в качестве доверительного управляющего и исполнительного органа фонда. Управляющая компания вправе осуществлять инвестирование средств в проекты, совершать сделки по приобретению и передачи в пользование имущества, оказывать консультативные услуги и т.д.

Другими словами, управляющая компания зарабатывает деньги, которые через фонд передаются университету. Рассмотрим взаимодействия агентов в сети, представленной на рис 34. Фонд учреждает управляющую компанию, университет регулярно передает в фонд отчеты о принятых проблемных решениях, коррекции стратегических планов, финансовой ситуации и т.д. Фонд запрашивает потенциальных спонсоров (физических и юридических лиц) о возможности добровольных пожертвований на нужды развития МГУ. Управляющая компания перечисляет фонду оговоренную договором долю своего дохода, а спонсоры – пожертвования. Воздействие фонда на МГУ реализуется как управление приоритетными направлениями деятельности университета с помощью финансовых потоков. Через равные календарные интервалы (например, год или се-

местр) с учетом полученных результатов, прорывных идей и перспектив их воплощения, совет директоров фонда устанавливает дополнительные надбавки к бюджету соответствующих подразделений МГУ (или, наоборот, сокращает бюджеты). Денежные средства фонда целевого капитала поступают в университет.

Цели Программы развития МГУ

В Программе сформулированы 10 приоритетных целевых направлений развития МГУ:

- с₁ - подготовка и воспроизводство кадров нового поколения;
 - с_{1.1} – новые университетские образовательные стандарты;
 - с_{1.2} – создание междисциплинарной магистратуры;
 - с_{1.3} – интерактивные формы обучения на базе электронных ресурсов;
 - с_{1.4} – рост количества выпускников МГУ, работающих в регионах России;
 - с_{1.5} – развитие изучения иностранных языков;
 - с_{1.6} – укрепление связей с общеобразовательными учреждениями;
- с₂ – стратегические информационные технологии;
 - с_{2.1} – разработка суперкомпьютерных технологий в области высокопроизводительных вычислений и распределенной обработки данных;
 - с_{2.2} - разработка программного обеспечения для суперкомпьютерных систем, методов математического моделирования, технологий программирования;
 - с_{2.3} - математические методы защиты информации, теории интеллектуальных систем и приложений;
- с₃ - исследование структуры материи и космоса, применение космических технологий;
- с₄ - комплексные исследования человека;
- с₅ - энергоэффективность, наноматериалы и бионаносистемы;
- с₆ - рациональное природопользование и устойчивое развитие регионов России;
- с₇ - духовно-нравственные ценности, язык, сознание и культура как основа консолидации российского общества;
- с₈ - социальные основы и механизмы модернизации инновационного развития России;
- с₉ - инфраструктура инновационной деятельности;

c_{10} - выявление и поддержка новых перспективных научных направлений.

Граф целей Программы дан на рис. 35, где c_{11} – общая цель Программы «Активизация междисциплинарных исследований и использования научных результатов в образовательном процессе для получения качественно новых знаний и высокоинтеллектуальных инноваций».

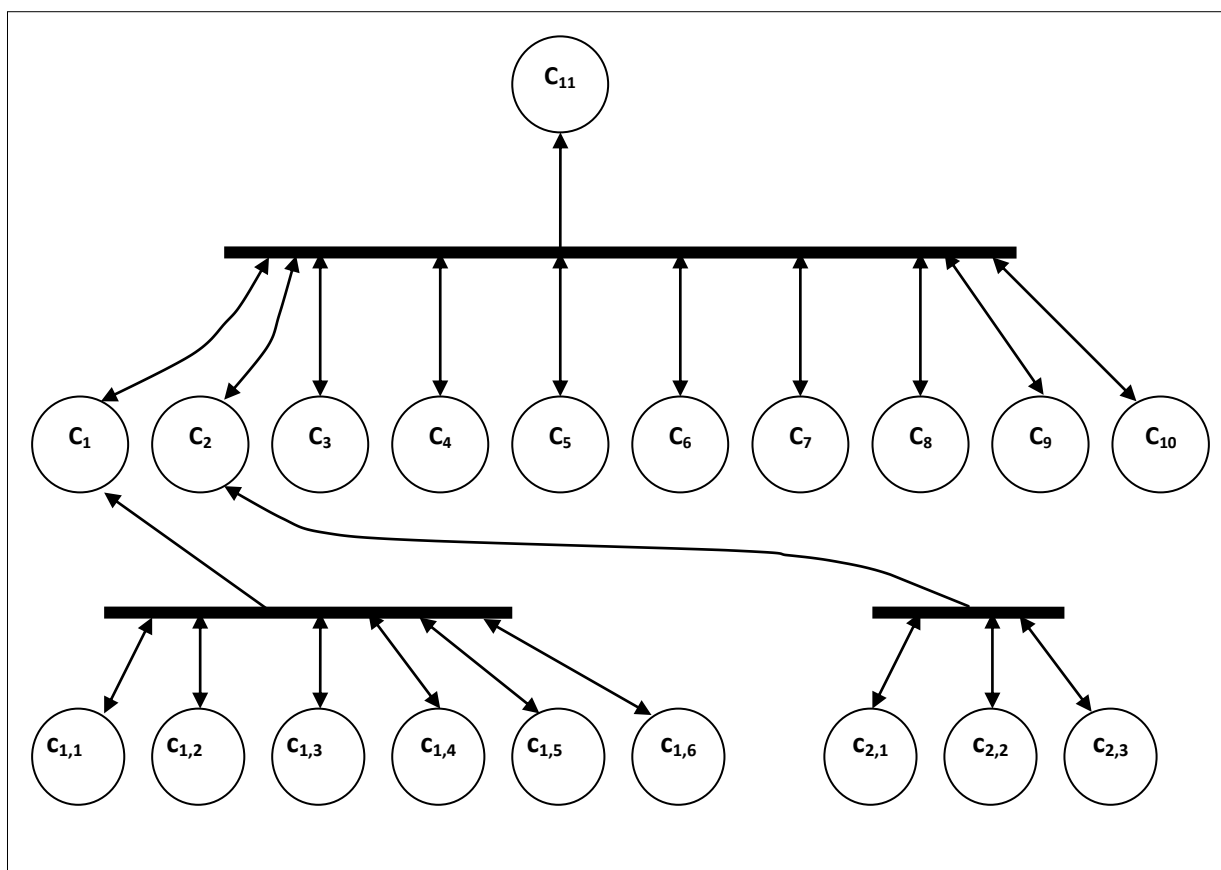


Рис 35. Граф целей Программы развития МГУ

Приоритетные направления деятельности при реализации процессов развития МГУ:

d_1 – системное развитие образовательных процессов, включая изучение преимуществ различных образовательных стратегий, интегральное развитие фундаментального и прикладного образовательных компонентов, повышение научно-образовательного потенциала коллектива МГУ и т.д ;

d_2 – системное развитие научно-исследовательских и инновационных процессов на основе долгосрочных стратегий, междисципли-

нарной тематики, сочетания фундаментальной и прикладной науки, активизации взаимодействия студенческого и научно-педагогического сообществ, а также других факторов;

d_3 – системное развитие инфраструктурного комплекса, объединяющего управляющую, информационную, социально-культурную, жизнеобеспечивающую структуры;

d_4 – системное развитие интегрального сетевого взаимодействия, включая содействие органам государственной власти путем выполнения экспертно-аналитических работ и оказания консультативных услуг, помощь вузам России в повышении квалификации и переподготовке преподавателей, консолидацию ученых в рамках интеллектуальных клубов, активные связи со средней школой, организацию олимпиад, повышение академической мобильности через взаимодействия с ведущими иностранными университетами и т.д.

Комплекс действий, выполняемых в рамках i -го приоритетного направления в течение j -го года десятилетней Программы, $i=1, \dots, 4$, $j = 1, \dots, 10$, обозначим через $d_{i,j}$. Действия реализуются параллельно на временном горизонте 2011-2020 годов так, как это показано в графе на рис. 36.

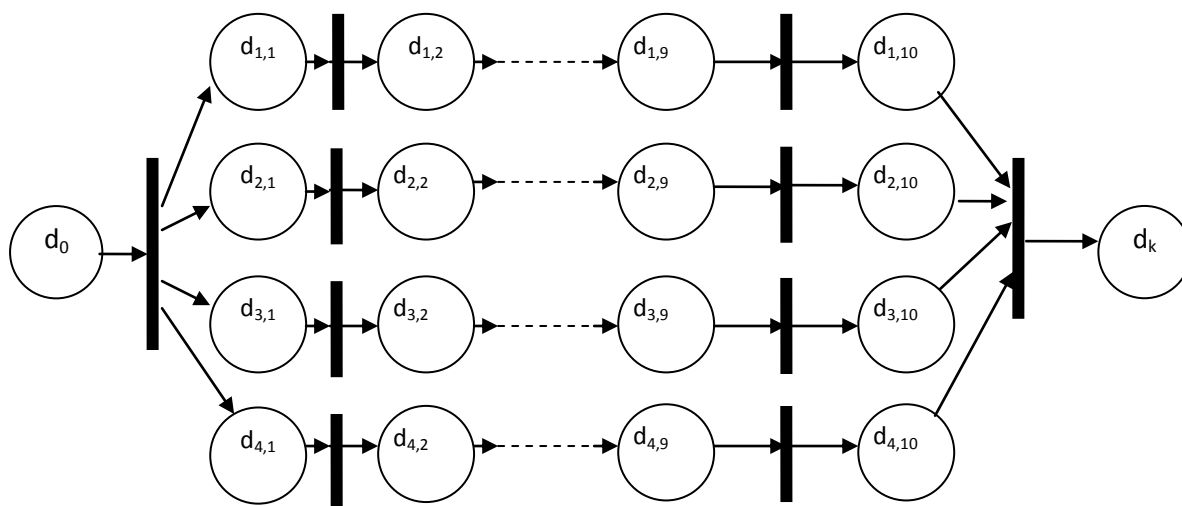


Рис. 36. Граф действий Программы развития МГУ

Показатели развития МГУ

Приоритетные направления деятельности МГУ характеризуются очень большим числом показателей. В качестве примера приве-

дем некоторые содержащиеся в Программе показатели, относящиеся к направлению d_4 «Системное развитие интегрального сетевого взаимодействия»:

p_1 – доля совместных проектов МГУ с российскими региональными вузами;

p_2 – доля совместных проектов МГУ с иностранными университетами;

p_3 – доля иностранных студентов и аспирантов, обучающихся в МГУ;

p_4 – доля профессоров МГУ, преподающих в иностранных университетах;

p_5 – доля принятых в аспирантуру и докторантуру из других организаций;

p_6 – доля выпускников, получивших дополнительное профессиональное образование в МГУ;

p_7 – численность научно-педагогических работников других вузов, прошедших переподготовку или повышение квалификации в МГУ;

p_8 – то же для учителей;

p_9 – то же для работников реального сектора экономики;

p_{10} – доля доходов от совместной деятельности с компаниями реального сектора экономики по реализации инновационных проектов.

Рамочное моделирование Программы развития МГУ

Для выполнения рамочного (предварительного) моделирования Программы необходимо вершины – переходы в графах целей, действий и показателей «нагрузить» индикаторными выражениями на базе переменных c_i , d_i , p_i . Для упрощения изложения, ввиду большого числа показателей и сложности установления причинно-следственных связей между ними, граф показателей в данном примере мы опускаем. В графе целей (рис. 35) переходы не нагружаем, но для позиций нижнего ряда указываем активизирующие их переходы графа действий (рис. 36).

Рассмотрим формирование условий в индикаторных выражениях для переходов графа действий. Пусть срабатывание перехода этого графа $t_{4,j}$, отнесенного к приоритетному направлению деятельности МГУ d_4 , определяющего завершение j -го года и начало

$j+1$ -го года на интервале 2011-2020 годов, зависит от значения показателя $p_{3,j}$ – доля иностранных студентов и аспирантов в j – ом году в процентах ($j = 0, 1, \dots, 9$). Верхняя $p_{3,j \max}$ и нижняя $p_{3,j \min}$ границы показателя устанавливаются по согласованию агентами сети на рис. 34 - фондом целевого капитала и руководством МГУ. Указанные агенты имеют разные интересы: фонд заинтересован в увеличении денежных поступлений от иностранцев, т.е. в повышении верхней границы показателя, а МГУ - в том, чтобы больше способных молодых соотечественников учились в университете, т.е. в уменьшении нижней границы. Чаще всего в совете директоров фонда и в руководстве университета активное участие принимают одни и те же физические лица, которым приходится решать психологическую дилемму. Предположим, что итогом согласования стало решение: верхняя граница – 10%, нижняя – 5% . Тогда условие срабатывания перехода $t_{4,j}$ при $j = 1$ (конец 2011года) содержит индикаторную логическую подформулу:

$$(53) \quad P_{3.1} = (j=1) \& (p_{3.1 \min} > 5\%) \& (p_{3.1 \max} < 10\%)$$

Рамочный имитационный эксперимент на основе триадной модели может быть проведен следующим образом. Исполнителем является независимый эксперт, который не должен знать согласованных значений границ показателей, и для каждого годового интервала («медленного» такта) выбирает значение показателей сам, исходя из собственных знаний и опыта. Моделирование проводится экспертом в интерактивном режиме. Если в ходе эксперимента некоторые показатели выходят из зафиксированного в модели (согласованного) диапазона значений, то модель «зависает», и требуется повторное согласование границ показателей. Кроме того, проверяется факт и момент достижения поставленных целей. Если на горизонте моделирования какая-нибудь цель не достигнута, то также требуется коррекция модели. После коррекции модели имитационный эксперимент повторяется.

Заключительные замечания

В примере продемонстрирована возможность применения триадного подхода для моделирования механизма внебюджетного финансирования и Программы развития до 2020 года крупнейшего

российского образовательного учреждения – МГУ им Ломоносова. Механизм финансирования реализуется сетью из четырех взаимодействующих агентов: МГУ, фонда целевого капитала, управляющей компании и спонсоров. Рассмотрена конфигурация сети – связи между агентами. Представляется актуальной задача моделирования динамики по годам целевого капитала, аккумулированного в фонде. Задача может быть решена построением триадной модели фонда с последующим применением методов анализа динамики, рассмотренных в книге.

Применительно к Программе развития МГУ, которая принадлежит к классу больших систем, дана ее упрощенная триадная модель (без учета взаимовлияния показателей). Модель полезна тем, что она, во-первых, содержит комплексное системное описание Программы и способствует ее лучшему пониманию, и, во-вторых, может использоваться при прогнозировании динамики целей и показателей в рамках стратегического планирования развития больших систем.

Глава 5

Концепция построения программных средств имитационного моделирования многоагентных триадных сетей⁵

Предполагается, что автоматизированная система имитационного моделирования нужна для анализа поведения моделируемой сетевой структуры (в т.ч. определения временных и ресурсных характеристик, конфликтных ситуаций, «узких мест» и т.д.) и прогнозирования процессов развития моделируемой сетевой структуры, с определением её возможных конфигураций и динамики их преобразования. Это нужно для того, чтобы ЛПМ (Лицо, Проводящее Моделирование) могло понять динамику выбранной сетевой структуры, оказать на нее управляющие воздействия и изменить направление ее развития.

Имитационное моделирование процесса развития сетевой структуры реализуется в форме диалога введенной модели с ЛПМ согласно следующей схеме: (1) на каждом временном интервале ЛПМ контролирует функционирование модели и фиксирует полученные данные: о достижении целей, о тенденциях изменения показателей, о месте и времени нарушений, например, выходе показателей за допустимые пределы, об установлении в сети непредусмотренных циклов и т.д.; (2) ЛПМ анализирует эти данные и принимает решение о моменте следующего изменения модели и необходимых преобразованиях графов (на основе базовой операции "Замещение фрагмента графа").

Вышеупомянутые предположения дают возможность сформировать требования к возможностям автоматизированной системы имитационного моделирования, базирующейся на многоагентных триадных сетях. Далее от требований можно перейти к концепции построения системы имитационного моделирования, удовлетворяющей этим требованиям.

⁵ Глава 5 написана Д.А. Губановым

5.1. Требования к системе имитационного моделирования

Общее требование состоит в проведении при помощи автоматизированной системы *управляемых и воспроизводимых имитационных экспериментов*. На практике требование сводится к выбору того или иного вида имитационного моделирования (в нашем случае выбрано агентное моделирование).

Приведем также следующие требования.

- *Адекватное представление* выбранной моделируемой сетевой структуры и внешней по отношению к сетевой структуре среды.
- *Реактивная архитектура агента*, при которой агент управляет своим поведением, определяя текущую ситуацию, при заданных целях и способах их достижения.
- *Управление жизненным циклом агентов*, что предполагает, в частности, создание, инициализацию, взаимодействие и удаление агентов.
- *Оповещение ЛПМ* о нарушениях в функционировании моделируемой сетевой структуры.
- *Обеспечение анализа сетевой структуры* как на уровне всей сети в целом, так и на уровне отдельно взятого агента. Предполагается расчет показателей как сети, так и агентов. Более того, представляет интерес анализ динамики значений показателей, поэтому перспективно использование методов статистического анализа и методов анализа сетей.
- *Обеспечение интерактивного взаимодействия с ЛПМ*. ЛПМ должен иметь возможность не только исследовать конечные результаты имитационного моделирования, но и иметь возможность во время выполнения имитационного моделирования изменять параметры как агента (управлять целями, действиями и показателями), так и сети в целом (например, управлять внешними событиями).
- *Визуализация основных показателей* и формирование отчетов по результатам анализа.

Теперь можно от сформулированных требований перейти к концепции системы имитационного моделирования.

5.2. Концепция системы имитационного моделирования

5.2.1. Агентное моделирование

В нашем случае выбрано агентное моделирование. Впрочем, в агентной модели используется и дискретно-событийное моделирование для описания дискретных событий и описания функционирования агента.

Реактивная архитектура агента

Триадная модель агента предполагает достаточно сложное внутреннее устройство агента, которое позволяло бы моделировать его способность к целевыполнению. Предлагается архитектура агента, состоящая из следующих компонент:

- (1) структурная компонента, в которой можно выделить уровень целей, уровень действий и уровень показателей агента;
- (2) поведенческая компонента, которая позволяет определить текущую ситуацию на основе поступающей информации и выбрать соответствующее поведение агента.

Для моделирования структуры агента предполагается использовать онтологии целей, действий и показателей. Для моделирования поведения - продукционные правила.

Представление структуры агента

В качестве представления агента предлагается выбрать онтологию агента. Онтология агента содержит описывающие агента и его деятельность классы понятий с заданными на них семантическими отношениями: *Агент*, *Цель*, *Действие*, *Показатель*, *Переход*, *Надцель* и другие. Такой способ описания предоставляет выразительные средства для представления структурных и поведенческих свойств агентов, причем совместно с онтологиями можно легко использовать продукционные правила.

Алгоритм поведения агента

В каждый момент времени агент выполняет следующее.

- Последовательно проверяет условия для продукций всех переходов графов целей, действий и показателей (с учетом своего состояния и оказываемых на него внешних воздействий).
- Для тех продукций (продукционных правил "ЕСЛИ.., ТО.."), условия которых выполнены, вычисляет оператор и находит значения выходных переменных (достижение целей, выполнение действий, балльные значения показателей).

- Выполняет действия и обновляет текущие параметры своего состояния. При этом агент информирует систему как о своем нормальном поведении, так и о нарушениях функционирования, которые могут возникнуть: (1) при «зависании» агента, если обнаружен момент времени, в который не выполняется условие ни для одного перехода; (2) при противоречивости, если некоторому параметру в один и тот же момент присваиваются разные значения; (3) при выходе параметра за границы допустимого для него интервала значений.

Многоагентная сеть

Многоагентная триадная сеть представляет собой множество взаимосвязанных агентов, деятельность которых может координироваться во времени, причем в определенные моменты агенты могут передавать друг другу ресурсы; результатом индивидуальной деятельности агентов является достижение определенных коллективных целей и определенная динамика коллективных показателей.

Представление структуры сети

Для сети также предлагается онтология, в которой определены интегральные цели и показатели. Кроме того, онтология определяет связи и взаимодействия между агентами сети.

Моделирование поведения сети

Поведение сети определяется локальными взаимодействиями агентов и внешними по отношению к сети событиями. Для обеспечения взаимодействия агентов в системе предусматривается механизм адресного оповещения, при этом может происходить передача ресурсов.

5.2.2. Архитектура системы

На самом верхнем уровне система состоит из блока имитационного моделирования, блока анализа, блока хранения и блока экспорта. Рассмотрим блоки подробнее.

Блок имитационного моделирования

Механизм имитационного моделирования. Управляет имитационными моделями триадных сетей и пользовательским интерфейсом моделей, в частности: создает экземпляры моделей в памяти, обеспечивает полное или пошаговое выполнение имитационного моделирования, обеспечивает связь моделей с менеджером событий.

Имитационная модель в системе представлена специальным классом, который создает множество агентов и объектов среды, а

также координирует их работу. Для такой модели должны быть определены следующие операции: установка параметров перед выполнением эксперимента, создание экземпляров агентов в памяти, определение плана событий для выполнения эксперимента, обработка события завершения имитационного моделирования.

Менеджер событий. План событий передается централизованному менеджеру событий, который упорядочивает полученные события по времени (добавляет событие в список событий) и осуществляет последовательное управление событиями. На каждом дискретном шаге имитационного моделирования событие извлекается из начала списка и активизируется.

Событие. Событие – нечто, которое случается в определенное время. С точки зрения автоматизированной системы событие – объект, который способен вызвать методы одного или более целевых объектов. Событие может использоваться для поддержки адресного взаимодействия агентов, или для уведомления всех агентов о наступлении некоторого внешнего события. Агенты имитационной модели должны поддерживать специальный интерфейс для получения уведомлений о наступлении события.

Блок анализа

Блок анализа применяет статистические методы для анализа данных, полученных в ходе проведения экспериментов.

Блок хранения и запросов

Хранение метаинформации. Для достаточно полного и целостного представления моделируемой сетевой структуры, необходимого для имитационного моделирования, предполагается использовать в системе следующие *онтологии*: онтология агента, онтология сетевой структуры и онтология внешней среды. Такая модель организации базы данных программного комплекса позволяет легко модифицировать модель в процессе ее использования (в нее могут интегрироваться новые понятия и отношения), предоставляет выразительные средства для представления структурных и поведенческих свойств агентов в сетевых структурах (например, с такой моделью легко интегрируются продукционные правила, используемые для переходов).

Хранение данных и результатов анализа. Для хранения и управления массивом данных, используемых и получаемых в ходе проведения экспериментов.

Блок экспорта

Для представления результатов анализа ЛПМ при помощи заранее преднастроенных форм.

Заключительные замечания

В настоящей главе кратко описана концепция построения автоматизированной системы имитационного моделирования много-агентных триадных сетей. Приведен порядок взаимодействия ЛПМ с системой, приведены требования к возможностям системы, определен способ моделирования триадных сетей и предложена архитектура самой системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АДИДЕС И. *Как преодолеть кризисы менеджмента?* – М.: Юнити, 2005.
2. АЙЗЕРМАН М.А., ГУСЕВ Л.А. РОЗОНОЕР Л.И. СМЕРНОВА И.Н. ТАЛЬ А.А. *Логика. Автоматы. Алгоритмы.* – М.: Физматгиз, 1963.
3. АЙЗЕРМАН М.А., ГУСЕВ Л.А., ПЕТРОВ С.В., СМЕРНОВА И.Н. *Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (основы графодинамики)*// Автоматика и телемеханика. – 1977, №7, С. 135-151, №9, С. 123-136.
4. АМБАРЦУМЯН А.А. *Сетецентрическое управление на сетях Петри в структурированной дискретно-событийной системе.* / Управление большими системами. Спецвыпуск 30.1. – М.: ИПУ РАН, 2010, С.506-535.
5. АНИШЕВ П.А. *Редуцируемость сетей Петри.*// Программирование. -1982, №4, С.36-43.
6. БЛЮМИН С.Л. *Оргиперграфы: матричное представление*/ Управление большими системами. Спецвыпуск 30.1. – М.: ИПУ РАН, 2010, С.22-39.
7. БУРКОВ В.Н., БУРКОВА И.В. *Метод сетевого программирования в задачах управления проектами.*/ Управление большими системами. Спецвыпуск 30.1. –М.: ИПУ РАН, 2010, С. 40-61.
8. ВОРОНИН А.А., ГУБКО М.В., МИШИН С.П., НОВИКОВ Д.А. *Математические модели организаций.* – М.: Ленанд, 2008.
9. ГИЛЬБЕРТ Д., АККЕРМАН В. *Основы теоретической логики.* М.: Изд. URSS, 2010.
10. ГЛУШКОВ В.М. *Синтез цифровых автоматов.* – М.: Физматгиз, 1962.
11. ГОРОДЕЦКИЙ В.И. ГРУШИНСКИЙ М.С. ХАБАЛОВ А.В. *Многоагентные системы (обзор)* // Новости искусственного интеллекта. – 1998, №2, С. 64-116.

12. ГУБАНОВ Д.А., НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства.* –М. :Физматлит, 2010.
13. ДЕРНЕР. Д. *Логика неудачи.* – М.: Смысл, 1997.
14. ЗАКРЕВСКИЙ А.Д. *Параллельные алгоритмы логического управления.* – М.: Едиториал УРСС, 2003.
15. ЗАТУЛИВЕТЕР Ю.С., ФИЩЕНКО Е.А. *Графодинамические системы с сетевым управлением в математически однородном поле компьютерной информации.* /Управление большими системами. Спецвыпуск 30.1. –М.: ИПУ РАН, 2010, С. 567-604.
16. КОТОВ В.Е. *Сети Петри.* –М.: Наука, 1984.
17. КУЗНЕЦОВ О.П., КУЛИНИЧ А.А., МАРКОВСКИЙ А.В. *Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт/ Человеческий фактор в управлении* – М.:КомКнига, 2006, С.313-344.
18. КУЛЬБА В.В., КОНОНОВ Д.А., ЧЕРНОВ И.В., РОЩИН П.Е., ШУЛИГИНА О.А. *Сценарное исследование сложных систем: анализ методов группового управления / Управление большими системами.* Спецвыпуск 30.1. –М.: ИПУ РАН, 2010, С. 154-186.
19. ЛАРИЧЕВ О. И. *Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных Странах.* – М.: Логос, 2000.
20. МАКСИМОВ В.И. *Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций // Проблемы управления,* 2005, №3, С. 30-38.
21. МАРК Г., МакГоуэн К. *Методология структурного анализа и проектирования.* М.:МетаТехнология, 1993.
22. ПИТЕРСОН ДЖ. *Теория сетей Петри и моделирование систем.*- М.: Мир, 1984.
23. ПОСПЕЛОВ Д.А. *Ситуационное управление: Теория и практика.* – М.: Наука, 1986.
24. ПРИГОЖИН А.И. *Методы развития организации.* – М.: МЦФ, 2003.

25. РОБЕРТС Ф.С. *Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам.* – М.: Наука, 1986.
26. СААТИ Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий.* – М.: Радио и связь, 1993.
27. СВЕТЛОВ В.А. *Управление конфликтом.* – Спб.: Росток, 2003.
28. СЕМЁНОВ А.С. *Фрактальные развивающиеся архитектуры / Управление большими системами. Спецвыпуск 30.1.* – М.: ИПУ РАН, 2010, С. 91-103.
29. ТАРАСОВ В.Б. *От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика.* – М.: Эдиториал УРСС, 2002.
30. ТАЛЬ А.А., ЮДИЦКИЙ С.А. *Иерархия и параллелизм в сетях Петри I,II // Автоматика и телемеханика.* 1982, №7, С. 113-122, №9, С. 83-88.
31. ЮДИЦКИЙ С.А., МУРАДЯН И.А., ЖЕЛТОВА Л.В. *Моделирование динамики развития конфигураций организационных систем на основе сетей Петри и графов приращений // Проблемы управления.* 2007, №6, С. 26-34
32. ЮДИЦКИЙ С.А., МУРАДЯН И.А., ЖЕЛТОВА Л.В. *Анализ слабоструктурированных проблемных ситуаций в организационных системах с применением нечетких когнитивных карт // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.* 2008, № 3, С. 54-62.
33. ЮДИЦКИЙ С.А., ВЛАДИСЛАВЛЕВ П.Н. *Анализ и балансировка процессов исполнения ролей субъектами организационных систем // Управление большими системами, вып. 22, 2008, С. 33-50.*
34. ЮДИЦКИЙ С.А., ТОЧ Д.С. *Моделирование процесса посткризисной стабилизации организационных систем на основе триадной структуры // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.* 2009, №6, С.46-52.
35. ЮДИЦКИЙ С.А., ТОЧ Д.С. *Временной анализ систем с сетевым управлением на основе непрерывно-дискретной модели // Управление большими системами, вып.30, 2010, С. 67-78.*
36. ЮДИЦКИЙ С.А., МАГЕРГУТ В.З. *Логическое управление дискретными процессами.* – М.: Машиностроение, 1987.

37. ЮДИЦКИЙ С.А., РАДЧЕНКО Е.Г., *Алгебра потоковобитий и сети Петри – язык потокового моделированиямногоагентных иерархических систем.* // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.- 2004, №9, С. 61-66.
38. ЮДИЦКИЙ С.А., ВЛАДИСЛАВЛЕВ П.Н., ТОЧ Д.С. *Триадный подход к моделированию систем сетецентрического управления.* / Управление большими системами. Выпуск 28.- М.: ИПУ РАН, 2010, С.24-39.
39. ЮДИЦКИЙ С.А., ВЛАДИСЛАВЛЕВ П.Н. *Основы предпроектного анализа организационных систем.* М.: Финансы и статистика, 2005.
40. ЮДИЦКИЙ С.А., ЖЕЛТОВА Л.В., ВЛАДИСЛАВЛЕВ П.Н. *Графодинамическая триадная модель системы с дискретным управлением.*// Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, №10, 2010, С. 12-18.
41. ЮДИЦКИЙ С.А. *Графодинамическое имитационное моделирование развития сетевых структур.* // Управление большими системами, 2011, вып. 33, С. 21-34.
42. ЮДИЦКИЙ С.А. *Однородная многоуровневая триадная модель развития больших систем на индикаторных сетях.* // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2012, №2.
43. ЮДИЦКИЙ С.А. *Алгебраическое представление модели многоагентных сетей.* // Управление большими системами, 2011, вып. 34, С. 30-45.
44. ЮДИЦКИЙ С.А. *Графодинамическая автоматная модель разрешения конфликтов в организационных системах.* // Управление большими системами, 2008, вып.23, С. 126-136.
45. ЮДИЦКИЙ С.А. *Техника графодинамического моделирования бинарных игр на основе сценарных связей.* // Управление большими системами, 2010, вып.31, С. 289 – 298.
46. ЮДИЦКИЙ С.А. *Моделирование циклов в процессах развития организационных систем.* // Приборы и Системы. Управление, контроль, диагностика, 2011, №2, С.17-20.
47. ЮДИЦКИЙ С.А. *Сценарный подход к моделированию поведения бизнес-систем.* – М.: СИНТЕГ, 2001.

48. HOWARD N. *Drama Theory and its relation to Game Theory.*
// Group Decision and Negotiation, 1994, Vol.32, P.187 – 253.
49. YUDITSKIY S., ZHELTOVA L., MURADYAN I. *Triad Model of Business System Development Based on the Interaction of objectives, performance indicators and operations.* / Submission № 503, 17 th IFAC World Congress, 2008.

ОБ АВТОРЕ



Юдицкий Семен Абрамович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, академик Международной академии информатизации.

Родился в 1932 г. В 1956 г. окончил Московский станко-инструментальный институт. Работал 3 года конструктором на заводе, затем 4 года в отраслевом НИИ. В 1963 г. поступил в аспирантуру ИПУ РАН (тогда Институт автоматики и телемеханики АН СССР), в 1966 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1986 г. – докторскую. В ИПУ РАН последовательно занимал должности младшего, старшего, ведущего научного сотрудника, зав. сектором. В настоящее время – главный научный сотрудник.

Занимался проблемами построения систем пневмоавтоматики, логического управления технологическими процессами, создания АСУТП и АСУ. С начала 90-х годов работает преимущественно в области моделирования (математического описания и анализа) структуры и поведения сложных дискретных систем.

Автор более 200 научных работ, в том числе 10 монографий.

Дом. адрес: Московский дом-пансионат ветеранов науки,
117321 Москва, Профсоюзная ул. 132 кор. 8, к. 305
Дом. тел. (495) 339-59-10 Моб. тел. 8-916-730-54-09
Электронный адрес: yuseab@yandex.ru

Научное издание

Юдицкий Семен Абрамович

Моделирование динамики многоагентных триадных сетей

- М.: СИНТЕГ, 2012. - 112 с.

Подписано в печать 09.02.2012 г. Формат 60x88/16.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Бумага офсетная №1.
П.л. 7,0. Тираж 280. Заказ №

ООО «НПО СИНТЕГ»

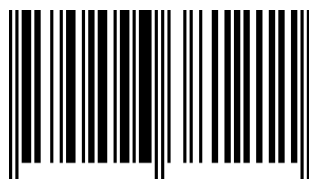
Адрес: 109542, Москва, ул. Вострухина, 6-5-77

Тел./факс: (095) 371-1316 Сайт: www.sinteg.ru

E-mail: info@sinteg.ru sinteg@mail.ru

Отпечатано в ГУП Академиздатцентр «Наука» РАН,
ОП «Производственно-издательский комбинат «ВИНИТИ»-«Наука».
140014, г. Люберцы, Московская обл., Октябрьский пр-кт, 403.
Тел. (495) 554-21-86.

978-5-89638-121-1



97858963811211