

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ КОНФИГУРАЦИЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ И ГРАФОВ ПРИРАЩЕНИЙ

С.А. Юдицкий⁽¹⁾, И.А. Мурадян⁽¹⁾, Л.В. Желтова⁽²⁾

⁽¹⁾ *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва;*

⁽²⁾ *Case Western Reserved University, г. Кливленд, США*

Предложена методология анализа путей развития сложных организационных систем, отражающая комплекс различных аспектов функционирования моделируемой системы. Исследована динамика целеполагания (целевая структура), выполнения операций процесса (операционная структура), взаимовлияния факторов — показателей деятельности системы (оценочная структура), а также связи между ними. Для анализа применен формальный аппарат, базирующийся на сетях Петри и графах приращений.

ВВЕДЕНИЕ

Под организационной системой (ОС) принято понимать объединение людей, оснащенных орудиями труда, совместно реализующими поставленные цели на основе определенных процедур и правил [1]. Интегральной динамической характеристикой ОС служит ее конфигурация, которую определим как совокупность следующих компонентов:

- иерархическая структура целей, на достижение которых направлена ОС;
- операции реализуемого ОС процесса как целенаправленные действия, имеющие ненулевую протяженность во времени, при выполнении которых потребляются ресурсы различного вида (финансовые, информационные, материальные, кадровые и др.) и формируются значения оценочных показателей функционирования ОС;
- порядок следования операций в процессе, выражаемый каузальным (причинно-следственным) отношением на множестве операций.

В процессе развития ОС, обусловленного как внешними событиями, так и внутренними ситуациями, конфигурация ОС может измениться. В общем случае в ОС реализуется линейная последовательность конфигураций [2].

Важная проблема, решаемая при проектировании и стратегическом планировании ОС, состоит в построении и анализе наглядных формальных моделей конфигураций и разработке методов преобразования (трансформации) одной конфигурации в другую. Моделирование конфигураций позволяет определить динамику достижения целей, потребления ресурсов, изменения оценочных показателей деятельности системы при различных внешних и внутренних условиях. Другими словами, предусмотреть варианты развития ОС (в рамках конфигурации) и тем самым уменьшить «неопределенность будущего».

Моделирование динамики конфигураций составляет основу стратегического планирования, в ходе которого:

- определяются выигрышные бизнес-стратегии как результат информированности о грядущих изменениях в бизнес-среде и прослеживается динамика ее развития;
- распознаются новые возможности для дальнейшего развития бизнеса;
- производится подготовка к возможным изменениям в бизнес-среде для уменьшения негативных последствий неблагоприятных ситуаций и уменьшения рисков капиталовложений.

Моделирование трансформаций конфигураций помогает выстроить долгосрочную стратегию развития ОС.



Статья посвящена рассмотрению методологии динамического моделирования развития ОС в терминах конфигураций, базирующейся на формальном аппарате сетей Петри [3, 4], индикаторных логических функций [5, 6] и введенных в работе графов приращений.

1. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНФИГУРАЦИИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Динамическая модель конфигурации ОС состоит из трех взаимодействующих блоков — операционного, целевого и оценочного (рис. 1). Операционный блок моделирует динамику выполнения операций процесса, реализуемого в ОС, а целевой блок — динамику достижения целей, от низшего целевого уровня к высшему, обусловленную выполнением операций. Оценочный блок отображает динамику факторов — показателей деятельности ОС, определяемую воздействиями со стороны операционного блока и взаимным влиянием факторов.

Взаимодействия между блоками, а также между ОС и внешней средой, изображены стрелками. Каналы взаимодействия на рис. 1, как и внутренние параметры блоков, при наличии необходимой информации задаются числовыми переменными с определенной областью значений. Если соответствующей информации недостаточно, то вводятся лингвистические переменные с качественными значениями типа «очень низкий», «низкий», «средний», «высокий», «очень высокий» уровень. Качественные значения оцениваются числом баллов по специальной шкале (например пяти- или десятибалльной). Таким образом лингвистические переменные преобразуются в числовые со стандартной областью определения.

На вход операционного блока воздействуют внешние факторы v_i , в том числе временной фактор (переменная «системное время») и данные r_i о необходимых ресурсах. На внешний выход операционного блока (на рис. 1 не показан) подаются данные о течении процесса (в терминах операций p_i) и динамике потребления ресурсов r_i [6].

Операционный блок инициирует возмущения в оценочном и целевом блоках, завершающиеся установлением в них равновесия, о чем сообщается в операционный блок. Повторное возмущение оценочного и целевого блоков допускается только в их равновесных состояниях. На выходе этих блоков формируются данные, соответственно, о динамике внутренних факторов d_i и динамике достижения целей c_i .

Рассмотрим элементы блоков и механизм действия структуры (см. рис. 1). Операционный и це-

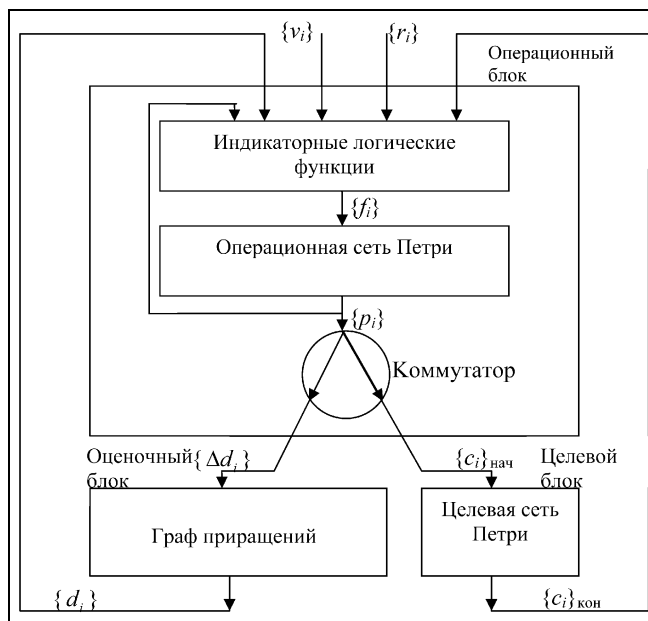


Рис. 1. Функциональная структура динамической модели организационной системы

левой блоки моделируются на основе формального аппарата классических сетей Петри, дополнительно помеченных индикаторными логическими функциями, оценочный блок — на основе специальной модификации сети Петри, названной графом приращений.

Напомним, что *сеть Петри* — это двудольный ориентированный граф с вершинами двух типов: позициями (изображаются кружками) и переходами (изображаются черточками). В позиции помещаются маркеры (жирные точки), вектор числа маркеров во всех позициях сети определяет ее маркировку. Среди маркировок выделяется начальная.

Изменение маркировки (числа маркеров в позициях сети) происходит при срабатывании переходов: удалении по маркеру из каждой его входной и внесении по маркеру в каждую выходную позицию. Переход может сработать (активизирован), если во всех его входных позициях содержится не менее одного маркера. В классической сети Петри запрещено одновременное срабатывание двух и более переходов. Поэтому, если в какой-нибудь маркировке активизировано несколько переходов, то из них должен быть выбран один. С этой целью вводится внешнее управление переходами с помощью логических функций — предикатов: переход срабатывает лишь при значении истинности управляющего предиката (для переходов, активированных в одной маркировке, предикаты должны быть попарно ортогональны) [7].

В операционном блоке (см. рис. 1) операциям p_i сопоставлены позиции сети Петри: если операция не выполняется, то позиция пуста; если выполняется, то в позиции содержится один маркер. Сеть Петри с такими свойствами называют 1-ограниченной или безопасной. Сеть Петри называют «живой», если из любой ее маркировки M_i достижимой из начальной M_0 , достижима какая-нибудь конечная маркировка M_k . Методы распознавания

свойств «безопасности» и «живости» сетей Петри рассматривались во многих работах, в том числе в книгах [3, 4, 7]. Операционная сеть Петри должна быть живой и безопасной.

В качестве управляющих предикатов f_i , соотнесенных переходам операционной сети Петри, применены *индикаторные логические функции*. Они выражаются формулами, составленными из термов — индикаторов вида $(x \# a)$, где x — числовая переменная, $x \in \{v_i, r_i, p_i, c_i, d_i\}$ — см рис. 1, a — константа, $\#$ — знак сравнения, $\# \in \{=, \neq, >, \geq, <, \leq\}$, с помощью логических связок $s \in \{\vee, \wedge, \neg, \forall, \exists\}$.

Целевой блок моделируется живой и безопасной сетью Петри, отображающей отношение «часть—целое» на множестве целей. Позиции сети соответствуют целям. Каждый переход имеет две либо больше входных («части») и одну выходную («целое») позицию, причем со входными позициями он связан парой стрелок («туда и обратно»), а с выходной позицией только одной стрелкой («туда»). Попадание маркера в позицию целевой сети интерпретируется как достижение соответствующей цели, срабатывание перехода — как достижение цели в результате достижения ее составных частей. В целевой сети Петри позиции, которые соответствуют неразложимым (элементарным) частям цели, принимаются за начальные.

При завершении операций в операционной сети вносятся маркеры в некоторые из пустых начальных позиций целевой сети, определяемых настройкой коммутатора (см. рис. 1). В результате, в целевой сети срабатывает цепочка переходов: маркеры сохраняются во входных позициях сработавшего перехода, и маркер вносится в его выходную позицию. Происходит «заполнение» целевой сети Петри. Достигнутые цели, входящие в выбранное множество $\{c_i\}_{\text{кон}}$, передаются в операционный блок как аргументы индикаторных логических функций.

Рассмотрим модель и способ функционирования *оценочного блока*. На оси времени τ выделим моменты $\tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_m$, где моменту τ_0 соответствует вектор начальных значений внутренних факторов $d(\tau_0) = d_1(\tau_0), \dots, d_n(\tau_0)$, а моментам $\tau_1, \dots, \tau_{m-1}$ — внешние воздействия на оценочный блок. В момент $\tau_j, j = 1, \dots, m-1$, на этот блок подается вектор приращений $\Delta d(\tau_j) = \Delta d_1(\tau_j), \dots, \Delta d_n(\tau_j)$, инициирующий переходный процесс на графе приращений, завершающийся установлением равновесия до наступления следующего момента τ_{j+1} . Момент τ_m является завершающим в рассматриваемом в модели временном промежутке, ему со-

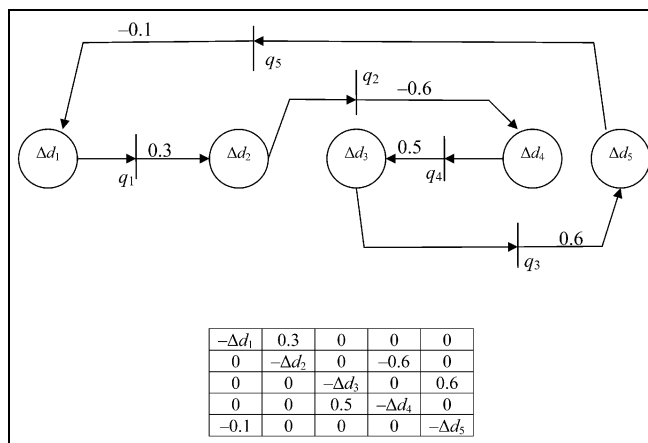


Рис. 2. Граф приращений и его представление матрицей инцидентий

ответствует вектор конечных значений $d(\tau_m) = d_1(\tau_m), \dots, d_n(\tau_m)$.

Граф приращений определим как пятерку $G = \langle D, Q, F, W, \alpha \rangle$, где $D = \{\Delta d_i\}, i = 1, \dots, n$, — множество позиций, сопоставленных приращениям внутренних факторов; $Q = \{q_i\}, i = 1, \dots, n$, — множество переходов, $|D| = |Q|$; $F \subset (D \times Q) \cup (Q \times D)$ — множество дуг, $\forall i \Delta d_i^* = {}^* \Delta d_i = 1$ (Δd_i^* и ${}^* \Delta d_i$ — соответственно число дуг, выходящих из и входящих в позицию Δd_i); $W = \{w_i\}, i = 1, \dots, b$, $w_i \in (-1, 0) \cup (0, +1)$ — множество весов; $\alpha: Q \rightarrow W$ — функция пометки переходов.

Пример графа приращений дан на рис. 2. Веса проставлены на выходных дугах переходов весами.

Пусть в графе приращений переход q_i с весом $w(q_i)$ является выходным для позиции Δd_i и входным для $\Delta d_e, i \neq e, i, e \in \{1, \dots, n\}$. Будем говорить, что фактор d_i взаимодействует с фактором d_e , причем начало (H) и конец (K) взаимодействия определяются соответственно условиями:

$$(\Delta d_i^H \neq 0) \wedge (\Delta d_e^H = 0),$$

$$(\Delta d_i^K = 0) \wedge (\Delta d_e^K = \Delta d_i^K \times w(q_i) \neq 0). \quad (1)$$

Взаимодействие факторов интерпретируется как передача приращения с «затуханием» $|\Delta d_i^H| > |\Delta d_e^K|$.

Вес перехода q_i , связывающего позиции Δd_i и Δd_e , имеет вид $w(q_i) = \pm z(i, e)$, где знак «+» соответствует увеличению Δd_e при увеличении Δd_i , а знак «-» — уменьшению Δd_e при увеличении Δd_i ,



$z(i, e) \in (0, 1)$ — коэффициент «затухания» при передаче приращения.

Примем, что внешнее воздействие в момент τ_j , $j = 1, \dots, m - 1$, порождает в графе приращений маркер $\Delta d_i(\tau_j)$, который проходит цепочку переходов q_{j1}, \dots, q_{jk} , срабатывающих соответственно в моменты $\tau_{j1}, \dots, \tau_{jk}$, $\tau_j < \tau_{j1} < \dots < \tau_{jk}$ на интервале $[\tau_j, \tau_{j+1})$. Конечная числовая характеристика этого маркера $\Delta d_i(\tau_j) \times z_{j1} \times \dots \times z_{jk}$, причем все коэффициенты затухания z_{jr} , $r = 1, \dots, k$, по абсолютной величине меньше единицы. Следовательно, с каждым последующим переходом числовая характеристика маркера убывает и в итоге не превышает заданного порогового значения. Последнее интерпретируется как «уничтожение» маркера, т. е. «обнуления» маркировки i -й позиции $\Delta d_i(\tau_{jk}) = 0$. Пример траектории движения маркера будет приведен далее в табл. 3.

Из изложенного следует

Утверждение. *В графе приращений переходный процесс, инициированный внешним воздействием, завершается установлением равновесия с нулевым приращением всех факторов. ♦*

Примем, что следующее внешнее воздействие подается лишь при равновесном состоянии графа приращений.

Отметим еще одно свойство переходного процесса в графе приращений на интервале $[\tau_j, \tau_{j+1})$: в любой принадлежащей ему маркировке число ненулевых компонент вектора приращений постоянно и равно числу ненулевых компонент в начальной маркировке $\Delta d(\tau_j)$.

Динамику каждого фактора d_i , $i = 1, \dots, n$, будем определять на каждом интервале $[\tau_j, \tau_{j+1})$, $j = 1, \dots, m - 1$, путем вычисления максимального и минимального значений: $d_i^{\max}[\tau_j, \tau_{j+1})$ и $d_i^{\min}[\tau_j, \tau_{j+1})$. Для этого воспользуемся матрицей инцидентий A графа приращений¹:

$$\Delta d(\tau_{jk}) = \Delta d(\tau_j) + A^T a_i(\tau_{j1}) + \dots + A^T a_i(\tau_{jk}), \quad (2)$$

где $\tau_{j1}, \dots, \tau_{jk}$ — «внутреннее» («быстрое») время переходного процесса, $a_i(\tau_r)$, $r = 1, \dots, k$ — вектор-столбец с единицей в ненулевых позициях в момент τ_{jr} и нулями в остальных позициях. Границы

¹ Строки и столбцы A сопоставлены приращениям Δd_i , нисходящая диагональ матрицы заполняется величинами $-\Delta d_i$ (при срабатывании перехода q_i его входная позиция обнуляется), на пересечении i -й строки и e -го столбца вписывается $\pm z(i, e)$.

приращения i -го фактора на интервале $[\tau_j, \tau_{j+1})$ определяются соотношениями:

$$\Delta d_i^{\max}[\tau_j, \tau_{j+1}) = \max\{\Delta d_i(\tau_{j1}), \dots, \Delta d_i(\tau_{jk})\},$$

$$\tau_{jr}, r = 1, \dots, k, \quad (3)$$

$$\Delta d_i^{\min}[\tau_j, \tau_{j+1}) = \min\{\Delta d_i(\tau_{j1}), \dots, \Delta d_i(\tau_{jk})\},$$

$$\tau_{jr}, r = 1, \dots, k.$$

Оценку значения фактора в момент τ_{j+1} также будем формировать в минимаксной интервальной форме $[d_i^{\max}(\tau_{j+1}), d_i^{\min}(\tau_{j+1})]$ и вычислять на основе рекуррентных соотношений:

$$d_i^{\max}(\tau_{j+1}) = d_i^{\max}(\tau_j) + \Delta d_i^{\max}[\tau_j, \tau_{j+1}),$$

$$d_i^{\min}(\tau_{j+1}) = d_i^{\min}(\tau_j) + \Delta d_i^{\min}[\tau_j, \tau_{j+1}). \quad (4)$$

Для начального момента τ_0 : $d_i^{\max}(\tau_0) = d_i^{\min}(\tau_0) = d_i(\tau_0)$.

Задавая значения $d_i(\tau_0)$ и приращения $\Delta d_i(\tau_j)$, $j = 1, \dots, m - 1$, с помощью правил (2)—(4) определяем верхнюю и нижнюю оценки для каждого фактора d_i , $i = 1, \dots, n$. Неопределенность при моделировании динамики развития ОС проявляется в том, что в моменты равновесия τ_j , непосредственно предшествующие переходным процессам на графе приращений, мы определяем не значения факторов, а лишь интервалы, в которых они могут находиться.

2. ПРИМЕР ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНФИГУРАЦИИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Введенные понятия проиллюстрируем на примере компании по доставке заказов клиентам. Рассматриваются первичная конфигурация компании, соответствующая текущему режиму ее работы, и трансформация первичной конфигурации во вторичную, отражающую планируемый будущий режим компании.

В настоящее время компания работает следующим образом. Ежедневно утром в центральном офисе по телефону от клиентов принимаются заявки на продовольственные заказы. Данные о заказах (с указанием магазина, в который должен быть доставлен заказ, и куда за ним должен явиться клиент), электронной почтой пересылаются на склад компании и в магазины. На складе комплектуются контейнеры, адресуемые магазинам, и формируются «контейнерные партии», загружаемые в автомобили. Каждый автомобиль по определенному маршруту развозит контейнеры с заказами по соответствующим магазинам. Клиент получает за-

Список операций для первичной и вторичной конфигураций

Конфигурация	Операция	Содержание операции
Первичная	p_1	Ежедневный прием по телефону заявок на заказы
	p_2	Комплектация на складе партии контейнеров с заказами (формирование информационных карт и ручное заполнение контейнеров)
	p_3	Комплектование автомобилей (задание маршрута, определение развозимой субпартии, загрузка автомобиля)
	p_4	Доставка контейнеров в магазины
	p_5	Рекламные мероприятия
	p_6	Мероприятия по увеличению заказа оборота (расширение ассортимента товаров и сети магазинов, увеличение транспортного парка)
	p_7	Совершенствование технологических процессов комплектования (выборочный контроль качества продуктов, роботизация комплектации)
	p_8	Повышение квалификации персонала
	p_9	Предоставление дополнительных услуг клиентам (заказы через Интернет, доставка на дом)
Вторичная	p_{10}	Прием заявок по телефону
	p_{11}	Прием заявок через Интернет
	p_{12}, p_{13}	Выборочный контроль качества
	p_{14}, p_{15}	Комплектация (контейнеров и автомобилей)
	p_{16}, p_{17}	Доставка заказов
	p_{18}	Мероприятия по расширению ассортимента заказываемого товара (переход на комплексные многономенклатурные заказы)
	p_{19}	Расширение географии поставок заказов
	p_{20}	Мероприятия по совершенствованию архитектуры компании

каз в магазине в тот же день. На следующий день описанный рабочий цикл повторяется.

Рассмотрим первичную конфигурацию динамической модели компании. Операционная сеть Петри дана на рис. 3, а перечень операций p_i , $i \in \{1, \dots, 9\}$, в табл. 1.

Через H и K на рис. 3 обозначены соответственно начало и конец имитационного эксперимента (в рамках конфигурации). Операции p_1, \dots, p_4 моделируют ежедневный рабочий цикл, операции

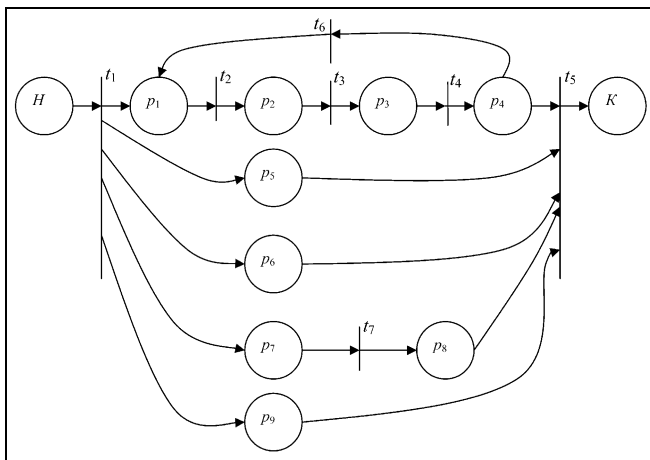


Рис. 3. Операционная сеть для первичной конфигурации

p_5, \dots, p_9 выполняются однократно в течение всего эксперимента, параллельно рабочему циклу. Цели и значения внутренних факторов, достигнутые в результате выполнения операций p_5, \dots, p_9 , определяют трансформацию ее конфигурации. Целевая сеть Петри для первичной конфигурации показана на рис. 4, а перечень целей c_i , $i \in \{1, \dots, 12\}$, дан в табл. 2.

Пусть индикаторные логические функции, инициирующие запуск и завершение имитационного эксперимента при первичной конфигурации компании, предложены экспертом, например, в следующем виде²:

$$\begin{aligned}
 f(t_1) &= (\tau \geq a_{1,1})(\tau \leq a_{1,2})(\Theta = a_3)(d_1 \geq a_4) \times \\
 &\quad \times (d_2 \geq a_5)(d_3 \geq a_6), \\
 &\quad \dots \\
 f(t_5) &= ((c_5 = 1)(c_7 = 1)(c_8 = 1) \vee (c_{10} = 1)) \times \\
 &\quad \times (d_1 \geq a_7)(d_2 \geq a_8)(d_3 \geq a_9)(d_4 > a_{10}) \times \\
 &\quad \times (d_5 < a_{11})(\Theta = a_{12}), \quad (5)
 \end{aligned}$$

где τ , Θ , d_1, \dots, d_5 , c_5, c_7, c_8, c_{10} — переменные (цели — булевы переменные, остальные — числовые переменные), $a_i \in \{a_{1,1}, a_{1,2}, a_3, \dots, a_{12}\}$ — константы; τ — время суток ($a_{1,1}, a_{1,2}$ — моменты соответ-

² Знак конъюнкции \wedge для простоты опускаем.

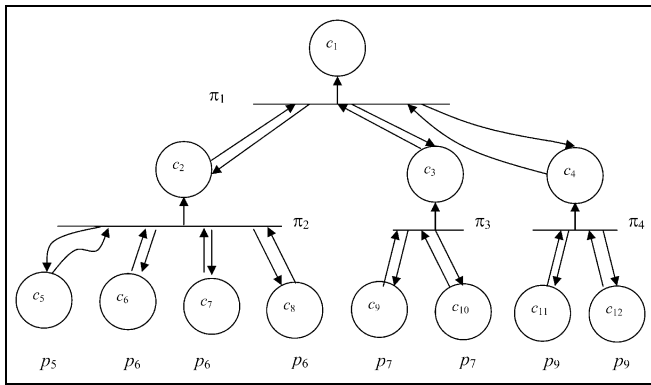


Рис. 4. Целевая сеть Петри для первичной конфигурации

ственно начала и конца приема заявок); Θ — время на интервале проведения эксперимента; факторы — показатели деятельности компании: d_1 — уровень капитализации компании; d_2 — доля на рынке; d_3 — степень окупаемости инвестиций; d_4 — оборот компании; d_5 — потери из-за сбоев (нарастающим итогом).

Выражение $(c_5 = 1)(c_7 = 1)(c_8 = 1) \vee (c_{10} = 1)$ в формуле (5) соответствует событию на целевой сети Петри (см. рис. 4). Условия срабатывания остальных переходов операционной сети (см. рис. 2) описываются аналогично. Граф приращений для первичной конфигурации компании и его матричное представление даны на рис. 2.

Коэффициенты «затухания» $z(i, e)$ при взаимодействии факторов выбраны на основе шкалы:

Очень слабое влияние	0,1
Слабое	0,3
Умеренное	0,5
Сильное	0,7
Очень сильное	0,9

Значения факторов оцениваются по пятибалльной шкале: 1 — очень низкое значение, 5 — очень высокое.

Пусть в момент τ_j , непосредственно предшествующий переходному процессу, векторы максимальных и минимальных значений факторов $d^{\max}(\tau_j) = 2, 2, 2, 3, 1$, $d^{\min}(\tau_j) = 1, 1, 1, 2, 0$, а внешнее воздействие определяется вектором приращений $\Delta d(\tau_{j1}) = 3, 2, -2, 0, 0$. Требуется для каждого i -го фактора, $i = 1, \dots, 5$, найти значения $d_i^{\max}(\tau_{j+1})$, $d_i^{\min}(\tau_{j+1})$, соответствующие следующему моменту τ_{j+1} .

Определим вначале последовательность векторов приращений в переходном процессе на интервале $[\tau_j, \tau_{j+1})$, вычисленную по формуле (2), см. табл. 3. В каждой маркировке содержится три ненулевых приращения, что определяет синхронное срабатывание трех переходов и, как результат, установление в переходном процессе следующей маркировки. Срабатывание переходов происходит согласно правилу (1) в два шага: на первом шаге «обнуляются» входные позиции переходов, на вто-

Таблица 2

Перечень целей для первичной и вторичной конфигураций

Конфигурация	Цель	Содержание цели
Первичная	c_1	Увеличение среднего годового дохода компании до заданного
	c_2	Увеличение среднего месячного оборота заказов до заданного
	c_3	Совершенствование технологических процессов компании
	c_4	Предоставление клиентам новых сервисных услуг (заказ через Интернет, доставка на дом)
	c_5	Интенсификация рекламы (телевидение, радио, Интернет, наружная реклама)
	c_6	Расширение ассортимента
	c_7	Расширение сети пунктов выдачи заказов на 15 %
	c_8	Увеличение транспортного парка компании
	c_9	Введение выборочного контроля качества продукции от производителя
	c_{10}	Увеличение производительности: сокращение длительности технологического процесса на 30 % и высвобождение на 10 % персонала при комплектации контейнеров на складе (автоматизация комплектования)
Вторичная	c_{11}	Введение доставки заказов на дом
	c_{12}	Введение приема заказов через Интернет (компьютеризация оформления заказов)
	c_{13}	Создание распределенной системы специализированных складов
	c_{14}	Комплексная автоматизация складских работ
	c_{15}	Реализация многономенклатурных комплексных заказов
	c_{16}	Вовлечение в сферу деятельности компании новых регионов

Последовательность векторов приращений

Момент переходного процесса	Срабатывающие переходы	Вектор приращений $\Delta d(\tau_j)$				
		3	2	-2	0	0
τ_{j1}	$\{q_1, q_2, q_3\}$	0	0,9	0	-1,2	-1,2
τ_{j2}	$\{q_2, q_4, q_5\}$	0,12	0	-0,6	-0,54	0
τ_{j3}	$\{q_1, q_3, q_4\}$	0	0,036	-0,27	0	-0,36
τ_{j4}	$\{q_2, q_3, q_5\}$	0,036	0	0	-0,216	-0,162
τ_{j5}	$\{q_1, q_4, q_5\}$	0,0162	0,0108	-0,0108	0	0
τ_{j6}	$\{q_1, q_2, q_3\}$	0	0,00486	0	-0,00648	-0,00648
		0	0	0	0	0
$\Delta d^{\max}[\tau, \tau_{j+1})$		3	2	0	0	0
$\Delta d^{\min}[\tau_j, \tau_{j+1})$		0	0	-2	-1,2	-1,2

ром шаге вычисляются и заносятся в таблицу приращений значения выходных позиций.

Примем за пороговое значение $\Delta d_i = 0,01$. Для момента τ_{j6} все ненулевые компоненты вектора приращений ($\Delta d_2(\tau_{j6}) = 0,00486$, $\Delta d_4(\tau_{j6}) = \Delta d_5(\tau_{j6}) = -0,00648$) по абсолютной величине не превосходят 0,01. Поэтому «обнуляем» Δd_2 , Δd_4 и Δd_5 и записываем вектор (0, ..., 0) в нижнюю подстроку строки τ_{j6} табл. 3.

Переходный процесс в графе приращений, инициированный в момент τ_{j1} , завершается в момент τ_{j6} .

Пунктирными стрелками в табл. 3 показан путь и преобразования маркера, соответствующего начальному приращению $\Delta d_1(\tau_j) = 3$, при выполнении переходного процесса (маркер по абсолютной величине монотонно убывает).

Применив для каждого фактора (столбца табл. 3) правила (3) с учетом знака, получим значения,

вписанные в две нижние строки табл. 3. На основании правил (4) приходим к искомому результату:

$$d^{\max}(\tau_{j+1}) = (2, 2, 2, 3, 1) + (3, 2, 0, 0, 0) = 5, 4, 2, 3, 1,$$

$$d^{\min}(\tau_{j+1}) = (1, 1, 1, 2, 0) + (0; 0; -2; -1,2; -1,2) = 1; 1; -1, 0,8; -1,2.$$

Коммутатор (см. рис. 1) в примере описан таблицей 4, в которой для операций p_i даны инициируемые ими приращения факторов Δd_i и начальные позиции целевой сети c_i (элементарные цели).

При проведении имитационного эксперимента на основе динамической модели конфигурации ОС устанавливаются начальные условия: начальные маркировки операционной сети (маркер в позиции H , остальные позиции пустые — см. рис. 3), целевой сети (все позиции пустые — см. рис. 4), начальные значения внутренних факторов. Результат эксперимента — временные графики изменения факторов в интервальной форме и временные графики достижения целей [6].

Таблица 4

Связь между элементами динамической модели

p_i	Δd_i	c_i
p_1 p_2 p_3 p_4	—	—
p_5 p_6 p_7 p_8 p_9	$\Delta d_2 = 1,5; \Delta d_1 = 1$ $\Delta d_4 = 0,5$ $\Delta d_5 = -0,5; \Delta d_3 = 1,5$ $\Delta d_5 = -0,5; \Delta d_1 = 0,8$ $\Delta d_2 = 0,5$	c_5 c_6, c_7, c_8 c_9, c_{10} — c_{11}, c_{12}

3. ТРАНСФОРМАЦИЯ КОНФИГУРАЦИИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Конфигурации трансформируются путем коррекции функциональных блоков (см. рис. 1), определяемой решением эксперта. При этом может иметь место преобладание относительно некоторых частей описания, переносимых из одной конфигурации в другую. Проиллюстрируем это на примере сети Петри, соответствующей операционному блоку конфигурации K_1 (см. рис. 3). Разобьем сеть на два связанных фрагмента, из которых

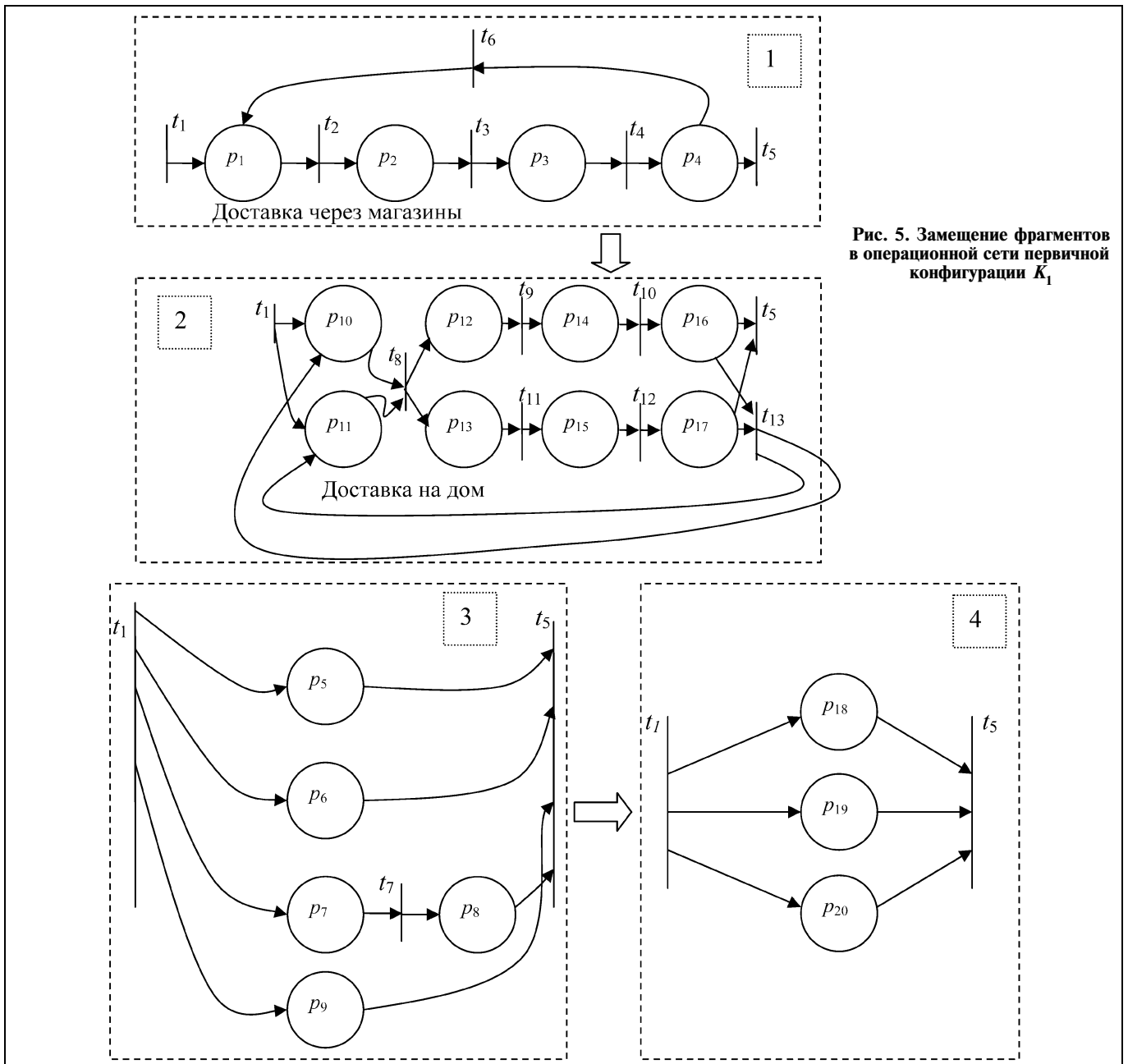


Рис. 5. Замещение фрагментов в операционной сети первичной конфигурации K_1

первый переходит в следующую конфигурацию K_2 без изменения, а второй замещается в ней новым фрагментом.

Для каждого замещаемого фрагмента эксперт конструирует замещающий фрагмент так, чтобы между входными (выходными) переходами замещаемого и замещающего фрагментов имело место взаимно однозначное соответствие.

Пример трансформации сети Петри дан на рис. 5: фрагмент 1 замещается фрагментом 2, а фрагмент 3 — фрагментом 4. Первое замещение соответствует переходу от приема заявок только по телефону (в конфигурации K_1) к приему в конфигурации K_2 заявок также через Интернет, введе-

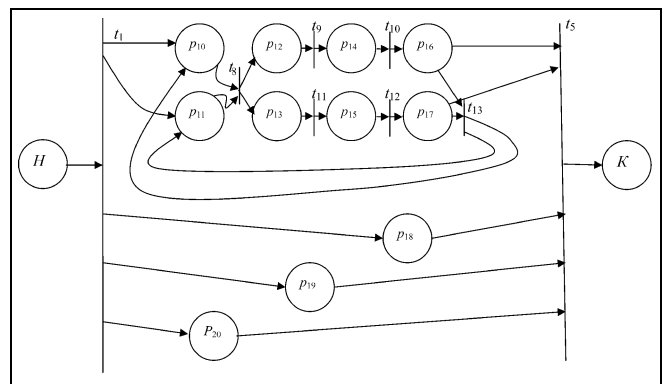


Рис. 6. Операционная сеть для вторичной конфигурации K_2

нию в конфигурацию K_2 выборочного контроля качества продукции и доставки заказов на дом (наряду с доставкой через пункты выдачи). Второе замещение отображает завершение в конфигурации K_1 операций p_5, \dots, p_9 и инициирование в конфигурации K_2 операций p_{18}, p_{19} и p_{20} , где p_{18} — мероприятия по расширению ассортимента заказываемого товара и переход на многономенклатурные комплексные заказы, p_{19} — расширение географии поставок, p_{20} — мероприятия по совершенствованию инфраструктуры компании.

Полученная в результате замещения фрагментов сеть Петри, характеризующая операционный блок конфигурации K_2 , дана на рис. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трудности при прогнозировании и стратегическом планировании развития сложных систем обусловлены в значительной мере слабой факторной структурированностью ситуаций — неопределенностью взаимовлияния факторов (концептов), определяющих работу системы. Повысить степень факторной структурированности ситуаций пытаются с помощью экспертных оценок, но последние, как известно, субъективны и могут существенно различаться у разных экспертов. Описание факторной структурированности формируют в виде когнитивных карт, на основе которых анализируют сценарии развития системы.

Предложенный в данной статье подход, базирующийся на целевой структурированности, обладает большей прозрачностью (с точки зрения эксперта) по сравнению с факторной структурированностью. Целевая структура каждой конфигурации отображает ее главную цель, составляющие цели (подцели), порядок (этапность) достижения целей и подцелей. Формальной моделью целевой структуры служит сеть Петри типа «дерево».

Целевое структурирование конфигураций предопределило методологию анализа развития сис-

тем, базирующуюся на понятии операционной структуры, которая отображает порядок следования операций — действий, направленных на достижение целей и подцелей. Динамика операций определяется потреблением соответствующих ресурсов и изменением значений факторов, характеризующих результаты деятельности системы. Формальным описанием операционной структуры системы служит сеть Петри, дополненная выражениями индикаторных логических функций, отображающих условия смены операций.

Для полноты представления динамики системы, кроме ее операционной структуры, моделируется взаимовлияние факторов, выраженное графом приращений. Предложенная методология динамического моделирования конфигураций организационных систем базируется на интеграции формального аппарата сетей Петри, графов приращений и индикаторных логических функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами: вводный курс. — М.: МПСИ, 2005.
2. Минцберг Г., Альстрэнд Б., Лэмпл Дж. Школы стратегий. — СПб.: Питер, 2000.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 1984.
4. Котов В.Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984.
5. Юдицкий С.А., Радченко Е.Г. Алгебра потоков событий и сети Петри — язык потокового моделирования многоагентных иерархических систем // Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. — 2004. — № 9. — С. 61–66.
6. Владиславлев П.Н., Мурадян И.А., Юдицкий С.А. Взаимодействие целевой и операционной динамических моделей сложных процессов // Автоматика и телемеханика, — 2005. — № 11. — С. 126–134.
7. Юдицкий С.А., Магергут В.З. Логическое управление дискретными процессами. — М.: Машиностроение, 1987.

☎ (499) 783-20-85, e-mail: muradyan_igor@mail.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Кульбой. □

Новая книга

Губко М.В. Математические модели оптимизации иерархических структур. — М.: ЛЕНАНД, 2006. — 264 с.

Книга посвящена развитию одного из актуальных направлений теории управления организационными системами — математическим моделям формирования иерархических организационных структур. Приводится обзор современного состояния теории, предлагаются и исследуются модели построения оптимальных иерархий, обобщающие подходы ряда российских и зарубежных ученых, даны примеры решения некоторых прикладных задач.

Предложенная общая модель оптимизации иерархических структур может применяться для решения широкого класса задач — от формирования организационной структуры до проектирования сборочного производства.

Для специалистов по теории организационного управления, исследованию операций, институциональной и микроэкономике, преподавателей, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Электронная версия книги находится в свободном доступе в электронной библиотеке сайта www.mtas.ru