УДК 519.710.3

ГРАММАТИКА ЯЗЫКА ОПИСАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Дадеркин Д.О.
Кафедра информатики

Поступила в редакцию 10.01.2011, после переработки 20.03.2011.

В данной работе рассмотрены язык иерархических типизированных диаграмм (the Hierarchical Typified Diagrams Language, HTD-язык), предназначенный для графического описания иерархических систем управления, грамматика для выражений этого языка, показано существование эффективных алгоритмов перевода HTD-диаграмм в алгебраические выражения и обратно.

In this work the language of the hierarchical typified diagrams is considered (the Hierarchical Typified Diagrams Language, HTD-language), that is intended for the graphic description of hierarchical control systems, grammar for expressions of this language is considered, existence of effective algorithms for transfer of HTD-diagrams into algebraic expressions and inversely is shown.

Ключевые слова: упорядоченное множество рациональных чисел, грамматики, автоматные структуры.
Keywords: ordered set of the rational numbers, grammars, automatic structures.

Введение

Реальное управление бизнес-процессами (БП) подразумевает постоянное получение владельцем БП информации об отклонениях от критериев протекания БП и оказание владельцем БП мотивационного воздействия на исполнителей БП. Обычно на множестве участников БП введены иерархические отношения.

Простейшая система автоматического управления (САУ) [2] содержит один выходной параметр, одно задающее и одно возмущающее воздействия.

Рассмотрим двухуровневую иерархическую систему управления из $n+1$ САУ: САУ верхнего уровня - САУ$_0$ и САУ нижнего уровня - САУ$_1, \ldots,$ САУ$_n$ (Рис. 1).

В САУ$_i$ задающее устройство ЗУ$_i$, изменяя управляющее воздействие U$_i$, создаёт требуемое значение выходной величины YO_i, которое сравнивается с действительным значением Y_i на выходе САУ$_i$.

Объединим в управляющее устройство УУ$_i$ задающее устройство ЗУ$_i$ и регулятор Р$_i$, $i = 0, \ldots, n$.

УУ$_i$ воздействует на объект управления О$_i$ управляющим воздействием U$_i$. При отклонении $e_i = Y0_i - Y_i$, i–ый регулятор Р$_i$ формирует такое управляющее воздействие U$_i$, что $e_i = 0$. В случае, когда Р$_i$ не может обеспечить $e_i = 0$, УУ$_i$ фиксирует состояние ошибки E$_i$ и формирует сигнал S$_i$, передающийся на вход УУ$_0$, регулятор Р$_0$ которого создаёт управляющее воздействие G$_i$ на УУ$_i$, заставляющее ЗУ$_i$ и Р$_i$ сформировать управляющее воздействие U$_i$, обеспечивающее $e_i = 0$ для УУ$_i$. FF$_i$ - возмущающее воздействие.

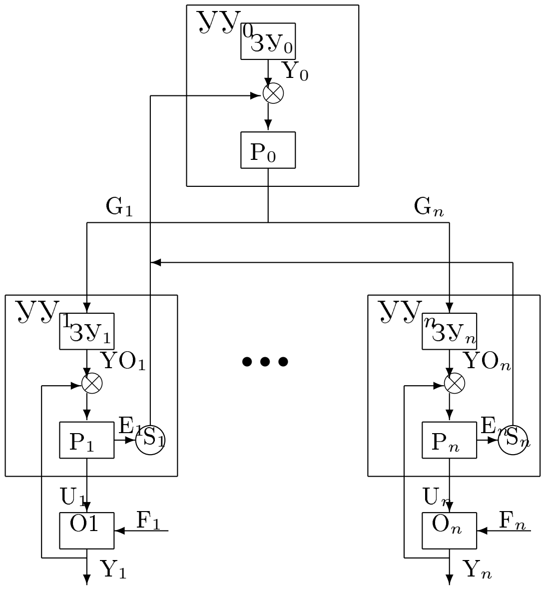

Рис. 1. Двухуровневая иерархическая система

Для САУ$_0$ объект управления О$_0$ есть объединение всех САУ$_1$, . . . , САУ$_n$.

Совокупность управляющего устройства и объекта управления назовём субъектом управления (СУ).

В нотации $IDEF0$ управляющее устройство и объект управления объединены в один блок, идентифицируемый именем функции, описывающей процесс.

Рассмотрим совокупность взаимосвязанных субъектов управления. Они образуют иерархическую систему управления (Рис. 2).

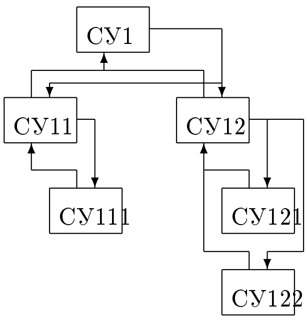

Рис. 2. Иерархическая система управления

Для описания подобных иерархических систем управления введем в рассмотрение нотацию HTD (the Hierarchical Typified Diagrams Language).

1. Критерии выполнения бизнес-процессов

Результатом выполнения БП являются продукты или услуги.

Пусть $\mathbb{X}$ – множество, элементы которого есть результат выполнения БП. Пусть на $\mathbb{X}$ задана функция именования F, приписывающая каждому $x \in \mathbb{X}$ некоторое имя (идентификатор) P_γ такое, что $P_\gamma = F(x), \gamma \in \Gamma$. Допускается совпадение имён, т.е. для $x, y \in \mathbb{X}$, таких, что $x \neq y$, найдётся такое $l \in \Gamma$, что $P_l = F(x) = F(y)$. Будем называть P_γ качественным признаком, именующим вид продукции или услуги, производимой в БП. Пусть $\mathbb{P}$ - некоторая совокупность таких качественных признаков.

Скажем, что $x, y \in \mathbb{X}$ эквивалентны ($x \sim y$), если найдётся такое $\gamma \in \Gamma$, что $P_\gamma = F(x), P_\gamma = F(y)$.

Для фиксированного элемента $x \in \mathbb{X}$ рассмотрим *класс эквивалентности* $C(x)$ элемента x - совокупность всех элементов из $\mathbb{X}$, ему эквивалентных:

$C(x) = \{y \in \mathbb{X} : y \sim x\}$.

Отношением эквивалентности $\sim$ множество $\mathbb{X}$ разбивается на объединение непересекающихся множеств

$$\mathbb{X} = \bigcup_{\gamma \in \Gamma} C_\gamma, \tag{1}$$

где каждое множество C_γ есть класс эквивалентности по отношению $\sim$.

С другой стороны, если задан набор качественных признаков $\mathbb{P}$, то тем самым задано разбиение множества $\mathbb{X}$ на классы эквивалентности (1), и качественному признаку P_l будет соответствовать класс эквивалентности C_l . Такой класс будем обозначать $\mathbb{X} \mid P_l$.

Для выполнения операций бизнес-процесса субъект управления производит соответствующие *действия*. Пусть СУ нижнего уровня производит в моменты времени i некоторые действия d_i, и пусть $\mathbb{D}$ – множество таких действий:

$$\mathbb{D} = \{d_1, \ldots, d_n\}, \mathbb{D} \subseteq \mathbb{N}, \tag{2}$$

Пусть $\mathbb{R}$– отображение, переводящее действие d_i в *результат* этого действия x_i: $x_i = \mathbb{R}(d_i)$, $\mathbb{X}$ – множество результатов действий d_i : $\mathbb{X} = \{x_1, \ldots, x_n\}$. Ясно, что $\mathbb{R}$– одно-однозначное отображение.

Не все x_i являются результатом действия, соответствующего операции БП, например, действие d субъекта управления – написание личного письма – приведёт к созданию результата действия $x = \mathbb{R}(d)$, и x – документ «личное письмо» – не является результатом операции БП. Поэтому набор качественных признаков $\{P_\gamma, \gamma \in \Gamma\}$ должен включать в себя идентификатор P_0 - «бесполезные действия», задающий в $\mathbb{X}$ класс эквивалентности $C_0 = \mathbb{X} \mid P_0$ - все результаты действий, не соответствующие операциям БП. Следовательно, все действия, связанные с выполнением операций БП, вводятся перечислением $\{P_\gamma, \gamma \in \Gamma\} \backslash P_0$.

Обозначим $\mathbb{X}^0 = \mathbb{X} \mid P_0$, $\mathbb{X}^+ = \mathbb{X} \backslash \mathbb{X}^0$. Действие d_i такое, что $\mathbb{R}(d_i) \in \mathbb{X}^0$ назовём *неоцениваемым действием* , действие d_i такое, что $\mathbb{R}(d_i) \in \mathbb{X}^+$ назовём *оцениваемым действием* и, если d_i таково, что $\mathbb{R}(d_i) \in \mathbb{X} \mid P_j$, то действием, оцениваемым по качественному признаку P_j .

Далее, если не оговорено противное, будем рассматривать подмножество $\mathbb{DR}$ оцениваемых действий СУ.

Зафиксируем некоторый качественный признак P_j. Рассмотрим соответствующий ему класс эквивалентности $\mathbb{C}_j = \mathbb{X} \mid P_j \subseteq \mathbb{X}^+$.

Для каждого качественного признака P_j зададим критерий $\mathbb{K}_j$ - совокупность ограничений, накладываемых на результаты x_i действий d_i таких, что $x_i = \mathbb{R}(d_i) \in \mathbb{C}_j$. Множество потенциально возможных результатов действий, удовлетворяющих критерию $\mathbb{K}_j$, обозначим $\mathbb{CK}_j$. Ясно, что $\mathbb{CK}_j \subseteq \mathbb{C}_j$.

С точки зрения результата БП требуется, чтобы для каждого качественного признака P_j все результаты x_i действий d_i таких, что $x_i = \mathbb{R}(d_i) \in \mathbb{C}_j$ удовлетворяли критерию $\mathbb{K}_j$, однако из-за наличия возмущающих воздействий могут существовать $x_i \in \mathbb{C}_j$, не удовлетворяющие совокупности ограничений $\mathbb{K}_j$.

Пусть $\mathbb{CD}_j \subseteq \mathbb{C}_j$ - множество результатов действий, реально произведённых при выполнении БП. Тогда $\mathbb{CK}_j \bigcap \mathbb{CD}_j$ есть множество результатов реально произведённых действий, удовлетворяющих критерию $\mathbb{K}_j$, и $\mathbb{CN}_j = \mathbb{CD}_j \setminus \mathbb{CK}_j$ есть множество результатов реально произведённых действий, не удовлетворяющих критерию $\mathbb{K}_j$.

Для множества L обозначим через $\mid L \mid$ мощность этого множества. Тогда $\mid \mathbb{CN}_j \mid$ есть количество результатов действий, не удовлетворяющих ограничениям $\mathbb{K}_j$.

Целью СУ является выполнение таких действий d_i, что $x_i = \mathbb{R}(d_i) \in \mathbb{CK}_j \bigcap \mathbb{CD}_j$, поэтому в качестве целевой функции для СУ по P_j будем рассматривать $\mid \mathbb{CN}_j \mid$.

Ясно, что $\mathbb{CD}_j = \mathbb{CK}_j$ при $\mathbb{CN}_j = \varnothing$, что соответствует $\mid \mathbb{CN}_j \mid = 0$, и целью управления СУ по качественному признаку P_j будет $\mid \mathbb{CN}_j \mid \to 0$.

Пусть M - имя СУ. Целью управления СУ M по всем P_j , $j = 0, \dots, k$, будет достижение минимума невязки следующей системы:

$$\begin{cases} \mid \mathbb{CN}_1 \mid \to 0 \\ \dots \\ \mid \mathbb{CN}_j \mid \to 0 \\ \dots \\ \mid \mathbb{CN}_k \mid \to 0 \end{cases}$$

Зададим в качестве целевой функции СУ M по всем P_j, $j = 0, \dots, k$

$$S(M) = \sum_{j=1}^{k} \mid \mathbb{CN}_j \mid,$$

а целью управления СУ M по всем P_j, $j = 0, \dots, k$ будет

$$\sum_{j=1}^{k} \mid \mathbb{CN}_j \mid \to 0.$$

Графом управления БП назовём $G = \{V, I, U\}$, где V – множество вершин, соответствующих субъектам управления - участникам БП, I – множество рёбер, задающих иерархию - отношение частичного порядка на V, U – множество рёбер, отображающих пути движения сигналов от некоторого СУ к другим участвующим в БП субъектам управления в случае, если у данного СУ возникло такое действе d_i , что $x_i = \mathbb{R}(d_i) \in \mathbb{CN}_j$.

Структурой управления БП назовём подграф $MS \subseteq G, MS = \{W, J\}$, $W \subseteq V$, $J \subseteq I$. В простейшем случае MS есть дерево. Скажем, что дерево является $n-$арным, если число потомков у каждой вершины не превосходит n.

Рассмотрим граф управления со структурой управления, соответствующей $n-$арному дереву $\lambda = \{1, \ldots, n\}$, корень которого поименован 1. Пусть для некоторого узла ν_i непосредственными потомками будут узлы с именами $\nu_i\alpha$, где $\alpha \in \{1, \ldots, n\}$, а всеми потомками - узлы с именами $\nu_i\beta$, где $\beta \in \{1, \ldots, n\}^+$.

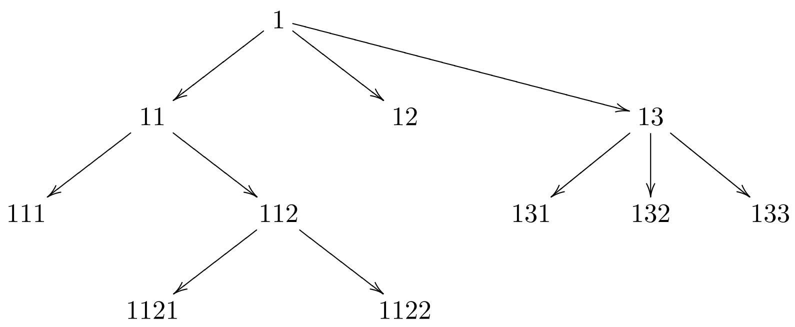

Рис. 3. 3-арное дерево управления, n=3, h=3

Таким образом, корнем дерева на Рис. 3 является субъект управления с именем 1, получающий управляющие команды от глобальной системы управления, а листьями – субъекты управления отдельными исполнительными механизмами 12, 111, 131, 132, 133, 1121, 1122.

Каждый СУ получает входные параметры от датчиков и СУ нижнего уровня и управляющие воздействия (команды) от СУ верхнего уровня.

Каждый СУ выдает управляющие воздействия на входы блоков управления нижнего уровня и параметры своего текущего состояния на входы блока (блоков) управления верхнего уровня.

Каждому субъекту управления - листу дерева с именем ν_i припишем соответствующую целевую функцию $S(\nu_i)$. *Собственной* целевой функцией $\widehat{S}(\nu_i)$ узла ν_i назовём целевую функцию узла, не содержащую результатов действий, связанных с управлением всеми нижележащими узлами $\nu_i\beta$, где $\beta \in \{1, \ldots, n\}^+$.

Рассмотрим узел ν_j , потомки которого - узлы с именами $\nu_j\alpha,\ \alpha \in \{1, \ldots, n\}$. Целевые функции потомков есть $S(\nu_j\alpha)$. Определим целевую функцию узла ν_j :

$$S(\nu_j) = \sum_{\alpha} K_{\nu_j\alpha} S(\nu_j\alpha) + \hat{S}(\nu_j).$$

Здесь $K_{\nu_j\alpha}$ - вектор предпочтений управления узлами $\nu_j\alpha$ со стороны узла ν_j .

Цель СУ узла ν_j:

$$\sum_{\alpha} K_{\nu_j\alpha} S(\nu_j\alpha) + \hat{S}(\nu_j) \to 0.$$

Определив целевые функции субъектов управления, можно использовать получаемую в ходе реализации БП информацию для мотивационного управления сотрудниками предприятия с использованием системы управления, учитывающей действия сотрудников, как удовлетворяющие, так и не удовлетворяющие соответствующим критериям. Для этого нужно, располагая средствами графического описания бизнес-процессов, связать действия, результаты действия субъектов управления и задаваемые критерии с путями движения информации в бизнес-процессах.

2. Язык HTD

В нотации IDEF0 (См. [1]) управляющее устройство и объект управления объединены в один блок, идентифицируемый именем функции, описывающей процесс (Рис. 4):

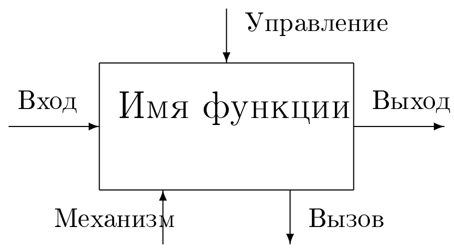

Рис. 4. Блок в нотации IDEF0

Рассмотрим систему, состоящую из субъектов управления, расположенных в вершинах некоторого графа управления. Рёбра этого графа являются управляющими воздействиями на субъекты управления.

Для описания подобных иерархических систем управления используем графический язык HTD .

Будем рассматривать HTD-нотацию, отличающуюся от нотации IDEF0, в частности, тем, что в основе её лежит понятие не функции, а субъекта управления, который описывается блоком, имеющим три входа и три выхода:

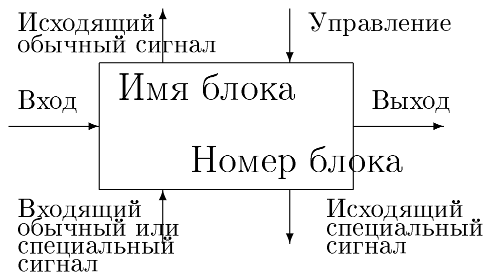

Рис. 5. Субъект управления в языке HTD

В языке HTD каждая сторона блока (левый верх, правый верх, выход, правый низ, левый низ, вход) имеет своё стандартное значение с точки зрения связи блок - стрелки. В свою очередь, сторона блока, к которой присоединена стрелка, однозначно определяет роль стрелки.

1. Стрелки, входящие в левую сторону блока - входы. Входы преобразуются субъектом управления, чтобы создать то, что появится на выходе блока.

2. Стрелки, исходящие из блока справа – выходы, т.е. данные, произведенные СУ.

3. Стрелки, входящие в блок сверху справа - управления. Управления определяют условия, необходимые СУ, чтобы произвести правильный выход.

4. Стрелки, исходящие из блока сверху слева – исходящие обычные сигналы. Обычные сигналы идут к ближайшему старшему по иерархии управления блоку.

5. Стрелки, входящие в левую нижнюю сторону блока - входящие обычные или специальные сигналы. Наличие входящего обычного сигнала устанавливает подчинённость данному блоку того блока, из которого исходит этот обычный сигнал.

6. Стрелки, исходящие из правой нижней стороны блока – исходящие специальные сигналы.

Таким образом, выделяются четыре роли, или типа, стрелок: вход-выход, управление, обычный сигнал, специальный сигнал.

В каждую точку входа может входить любое число стрелок определённого типа, из каждой точки выхода может исходить любое количество стрелок соответствующего типа.

Ясно, что в процессе движения информации от блока к блоку по, возможно, ветвящимся и сливающимся стрелкам, недопустимо, чтобы стрелки меняли свой тип.

При работе с графическими объектами в сложной диаграмме оператору необходимо отслеживать соответствие типов точек входов-выходов блоков и составляющих путь от блока к блоку стрелок, каждая из которых имеет свой тип, поэтому контроль правильность этих действий должно осуществить программное обеспечение. Для этого необходимо, опираясь на графическую грамматику, порождающую HTD-диаграммы, после каждого действия оператора, изменяющего строящуюся диаграмму, построить существующее по Лемме 2 выражение, соответствующее текущей диаграмме (п.2.3), и проверить выводимость этого выражения.

После завершения построения диаграммы для задания критериев управления субъектами управления (п.1) необходимо сформировать все имеющиеся пути из блоков в блоки HTD-диаграммы по алгоритму построения путей по диаграмме языка HTD (п.3).

2.1 Объекты нотации HTD

Объекты - это поименованные блоки и стрелки.

Стрелки имеют направление от начала стрелки (хвоста) к её концу (наконечнику). Начало и конец стрелки обозначаются идентификаторами (обычно заглавными латинскими буквами).

Имя хвоста ::= имя

Имя наконечника ::= имя

Имя стрелки ::= имя хвоста имя наконечника

Для стрелки a имя хвоста будем обозначать $s(a)$, имя наконечника – $r(a)$, таким образом, имя стрелки a есть $s(a)r(a)$, или $a = s(a)r(a)$.

Пример: $s(a) = A$, $r(a) = B$, $a = AB$.

Рис. 6. Стрелка AB

Блоки поименованы. Имя блока есть его номер в соответствии с нотацией HTD.

Имя блока ::= имя | имя номер точки входа-выхода

Точки входа-выхода блока имеют следующие номера:

Номер точки входа-выхода Левый_вход есть 1,

Номер точки входа-выхода Левый_верх есть 2,

Номер точки входа-выхода Правый_верх есть 3,

Номер точки входа-выхода Правый_выход есть 4,

Номер точки входа-выхода Правый_низ есть 5,

Номер точки входа-выхода Левый_низ есть 6.

Пример. Для блока с именем B номер точки входа-выхода Правый_верх есть $B3$.

2.2 Операции

2.2.1. На именах хвостов и наконечников стрелок и на именах точек входов-выходов блоков определена операция сильного склеивания $\oplus$.

Иногда будем говорить «Блок С» вместо «Блок с именем С».

Пусть стрелка a есть $s(a)r(a)$. Обозначим $Name(a) = \{s(a), r(a)\}$.

Для блока с именем B и точкой входа-выхода, помеченной номером i, обозначим $Name(B) = \{Bi\}$, например, для блока с именем B и точкой входа-выхода Правый_верх $Name(B) = \{B3\}$, для блока C с номерами точек входа-выхода 1, 2, 4 $Name(B) = \{B1, B2, B4\}$.

Для объектов a, b определим $Dom\oplus = Name(a) \bigcap Name(b)$. Ясно, что к объектам, у которых $Name(a) \bigcap Name(b) = \varnothing$, операция $\oplus$ неприменима.

В результате операции $\oplus$ склеиваются одинаково поименованные концы стрелок.

2.2.2. В зависимости от наименования концов стрелок различают:

2.2.2.1. Линейное склеивание: Для операции линейного склеивания вводится специальный знак операции линейного склеивания $+$ и требуется выполнение условия $r(a) = s(b)$. Таким образом, для стрелок a, b , таких, что $r(a) = s(b)$, имеем: $a \oplus b \quad = \quad a \quad + \quad b$.

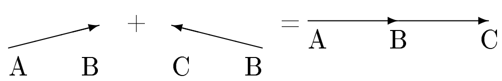

Рис. 7. Линейное склеивание

Замечание. Из условия $r(a) = s(b)$ следует некоммутативность операции $+$: при $a \neq b$ для $b + a$ имеем: $r(b) \neq s(a)$.

Пример: $a = AB, b = BC, r(a) = B, s(b) = B$,

$(AB) \oplus (BC) = (AB) + (BC) = (AB + BC)$.
Возможно получение петли:
$a = AB, b = BA$.
$(AB) \oplus (BA) = (AB) + (BA) = (AB + BA)$.
2.2.2.2. Ветвление:
Ветвление возникает, если s(a) = s(b).
Для ветвления вводится специальный знак операции ветвления $\vee$:
для стрелок a, b : $\quad s(a) = s(b) \quad a \oplus b = a \vee b$.
Пример:
$a = AB, b = AC. \quad s(a) = A, s(b) = A$.
$(AB) \oplus (AC) = (AB) \vee (AC) = (AB \vee AC)$.

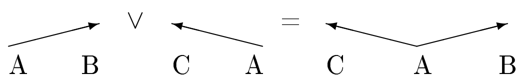

Рис. 8. Ветвление

2.2.2.3. Слияние:
Слияние возникает, если $r(a) = r(b)$.
Для слияния вводится специальный знак операции слияния $\wedge$:
для стрелок a, b : $\quad r(a) = r(b) \quad a \oplus b = a \wedge b$.
Пример:
$a = AB, b = CB. \quad r(A) = B, r(b) = B$.
$(AB) \oplus (CB) = (AB) \wedge (CB) = (AB \wedge CB)$.

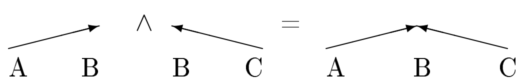

Рис. 9. Слияние

Поглощение - частный случай ветвления или слияния, возникает при склеивании двух одинаково поименованных стрелок.

Пример: $a = AB, b = AB$.

$(AB) \oplus (AB) = (AB) \vee (AB) = (AB) \wedge (AB) = AB$.

Далее, если не оговорено иное, считаем, что операции, приводящие к поглощению, отсутствуют.

Для соединения с блоком стрелок, исходящих из блоков и входящих в блок, используется операция линейного склеивания $+$.

Пример:

Для стрелок a, b : $s(a) = A, \quad r(a) = B1, \quad s(b) = B4, \quad r(b) = C$ и блока B с левым входом $B1$ и правым выходом $B4$ имеем:

$(AB1) + (B1) = (AB1 + B1)$.

$(B4) + (B4C) = (B4 + B4C)$.

Далее под объектами будем понимать поименованные блоки и стрелки.

Используем стандартное понятие связности:

1. Один объект связан.

2. Пусть есть $n+1$ объект. Если n объектов связаны и $n+1$-ый объект соединён с помощью операции $+$, $\vee$ или $\wedge$ хотя бы одной стрелкой с хотя бы одним из n объектов, то все $n+1$ объекты связаны.

Зафиксированное множество связных объектов будем называть диаграммой.

Диаграмма - иерархическая, если на множестве блоков введено отношение (частичного) порядка.

Диаграмма - типизированная, если входящие в неё стрелки типизированы.

Рассмотрим алгебру $\mathfrak{D} = \{\mathbb{M}, \Omega\}$, в которой основное множество $\mathbb{M}$ – поименованные стрелки и блоки, а сигнатура Ω состоит из введённых (частичных) операций: $\Omega = \{+, \vee, \wedge\}$.

Операции выполняются последовательно слева направо, если иное не предписано скобками. Операции $\vee$ и $\wedge$ имеют равный приоритет, операция $+$ - наименьший приоритет.

Индукцией по построению диаграммы расширим действие операций на диаграммы.

1. Для стрелок операции определены.

2. Для соединения с блоком стрелок, исходящих из блоков и входящих в блок, возможна и определена операция $+$.

3. Пусть D – диаграмма, состоящая из n стрелок a_i и m блоков b_j , $i = 1, \ldots, n$, $j = 1, \ldots, m$. Обозначим

$$Name(D) = \{\bigcup_{i=1}^{n} Name(a_i)\} \quad \bigcup \quad \{\bigcup_{j=1}^{m} Name(b_j)\}.$$

Пусть $a = s(a)r(a)$ – стрелка, добавляемая к D. Тогда

3.1. $D1 = D + s(a)r(a)$, если $s(a) \in Name(D)$,

$D1 = s(a)r(a) + D$, если $r(a) \in Name(D)$.

3.2. $D1 = D \vee s(a)r(a)$, если существует такой объект $c \in D : s(a) = s(c)$.

3.3. $D1 = D \wedge s(a)r(a)$, если существует такой объект $c \in D : r(a) = r(c)$.

3.4. Пусть b_j – имя входа-выхода блока, добавляемого к D, $j \in \{1, \ldots, 6\}$. Тогда $D1 = D + b_j$, если $b_j \in Name(D)$.

Замечание 1. Если условия 3.2 и 3.3 выполнены одновременно, то $D1$ совпадает с D.

Действительно, если $c \in D$ есть блок, то операции $\vee$ и $\wedge$ к c неприменимы, следовательно, c есть стрелка. Тогда $s(a) = s(c)$ по (3.2), $r(a) = r(c)$ по (3.3), следовательно, $a = c$ и имеет место поглощение, после которого в $D1$ стрелки a и c будут поглощены и в $D1$ останется только одна стрелка. Оставим этой стрелке имя a. Следовательно, $D1$ совпадает с D.

2.3 Грамматика для выражений языка HTD

Введём следующую грамматику для выражений языка HTD:

1. выражение ::= слагаемое | выражение + слагаемое

2. слагаемое ::= множитель | слагаемое $\vee$ множитель | слагаемое $\wedge$ множитель

3. множитель ::= первичное | (выражение)

4. первичное ::= имя стрелки | имя блока
5. имя стрелки ::= имя хвоста имя наконечника
6. имя хвоста ::= имя | имя точки входа-выхода
7. имя наконечника ::= имя | имя точки входа-выхода
8. имя блока ::= имя | имя точки входа-выхода
9. имя точки входа-выхода ::= имя номер точки входа-выхода

Здесь имя - это идентификатор, состоящий из букв и цифр.

Поскольку номера точек входа-выхода блоков кодируются цифрами от 1 до 6, то в имени блока последняя цифра есть номер точки входа-выхода.

Например, в выражении C24+C24x3 цепочка символов C24x3 означает стрелку (имеется пара идущих подряд имён), хвост которой выходит из 4-ой точки входа-выхода блока с именем C2, а наконечник имеет имя x3. То, что C2 - имя блока, следует из наличия цепочки символов C24, состоящей только из одного имени (первое слагаемое в выражении), а не пары имён.

Пример. $(B5+B5x2)\wedge((C5+C5x3)+x3x2\vee(x3E6+E6))+(x2D6+D6)$ есть выражение.

В соответствии с правилами введённой грамматики для выражений, построим дерево вывода для этой цепочки символов и, проведя левостороннийообход листьев построенного дерева, получаем искомое выражение.

Лемма 1. По выражению V однозначно восстанавливается соответствующая диаграмма.

Доказательство.

1. Определяется множество имён NB блоков: $NB=\{$множество цепочек символов, состоящих только из одного имени$\}$.

2. Определяется множество имён NA стрелок: $NA=\{$множество цепочек символов, состоящих из двух имён$\}$.

3. Построенные по NB блоки соединяются определёнными множеством имён NA стрелками в точках совпадения имён.

Пример. Построение диаграммы по выражению.

Пусть дано выражение

$(B2+B2x1)\wedge(C2+C2x1)+(x1A6+A6)+((B5+B5x2)\wedge((C5+C5x3)+((x3x2)\vee(x3E6+E6)))+(x2D6+D6)$.

1. Определяем множество имён NB блоков: $NB=\{A6,B2,B5,C2,C5,D6,E6\}$.

2. Определяем множество имён NA стрелок:

$NA=\{x1A6,B2x1,B5x2,C2x1,C5x3,x3x2,x3E6,x2D6\}$.

3. Построенные по NB блоки соединяются определёнными множеством имён NA стрелками в точках совпадения имён. Полученную диаграмму назовём $D1$ (Рис.10):

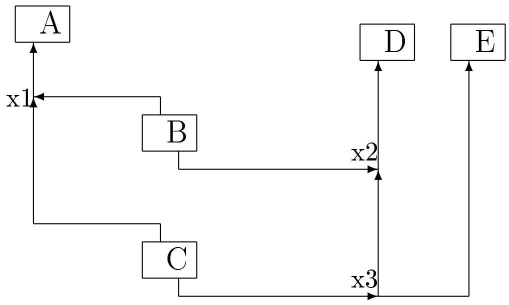

Рис. 10. Диаграмма D1

Лемма 2. Пусть D – диаграмма. Тогда в алгебре $\mathfrak{D}$ существует выражение V , соответствующее данной диаграмме.

Доказательство следует из существования эффективного алгоритма построения выражения для диаграмм языка HTD (п.3.2.).

Построение выражения по диаграмме в алгебре $\mathfrak{D}$. Пусть дана диаграмма $D1$ (см. Рис.10).

Пример. Диаграмме $D1$ (Рис.10) соответствует следующее выражение в алгебре $\mathfrak{D}$:

$(B2+B2x1)\wedge(C2+C2x1)+(x1A6+A6)+(B5+B5x2)\wedge((C5+C5x3)+(x3x2\vee (x3E6+E6)))+(x2D6+D6)$. Построение выражения см. п. 3.3.

3. Алгоритм построения выражения для диаграмм языка HTD

3.1 Матрица смежности диаграммы

Матрица смежности диаграммы (МС) – таблица, элементы которой принимают значения 0 или 1. Для индексации элементов МС используются строка имён и столбец имён.

Строка имён столбцов МС (строка имён МС) – расположенная над МС строка, состоящая из имён стрелок или имён точек входа-выхода блоков. Каждый элемент строки имён идентифицирует соответствующий столбец МС, являясь именем (индексом) этого столбца.

Столбец имён строк МС (столбец имён) - расположенный слева от строк МС столбец, состоящий из имён стрелок или имён точек входа-выхода блоков. Каждый элемент столбца имён идентифицирует соответствующую строку МС, являясь именем (индексом) этой строки.

Таким образом, каждый элемент МС определяется двумя индексами – именем строки и именем столбца, на пересечении которых он расположен. Если элемент $MC_{i,j}=1$, то в диаграмме за объектом с именем i непосредственно следует объект с именем j. «Непосредственно следует» означает, что между указанными объектами нет никаких других объектов. Имя i есть имя строки из соответствующего элемента столбца имён, j есть имя столбца из соответствующего элемента строки имён.

3.2 Агоритм построения выражения

1. Построить матрицу смежности для стрелок.

2. По этой матрице смежности следующим образом построить таблицу со столбцами Пред и След, строки которой будут состоять из имён блоков и стрелок, скобок и знаков операций (Пред - выражения и имена стрелок, предшествующих при движении по стрелкам в диаграмме выражениям и именам стрелок, содержащимся в След).

2.1. Проход по столбцам матрицы смежности.

Если в столбце с именем стрелки есть более 1 единицы, то, если создаваемая таблица ещё пуста, перейти к первой строке этой таблицы, иначе перейти к следующей строке таблицы и в Пред поместить имена из соответствующих этим единицам строк, соединённых знаком $\wedge$, в След - имя стрелки из заголовка этого столбца.

2.2. Проход по строкам матрицы смежности.

Если в строке с именем стрелки есть более 1 единицы, то, если создаваемая таблица ещё пуста, перейти к первой строке этой таблицы, иначе перейти к следующей строке таблицы и в Пред поместить это имя стрелки, в След поместить имена из соответствующих этим единицам столбцов, соединённых знаком $\vee$.

2.3. Перенести в Пред оставшиеся имена из строк матрицы смежности, в След – соответствующие им имена из столбцов матрицы смежности. Каждое имя, переносимое в Пред, поместить в новую строку таблицы, имя, переносимое в След, поместить в строку таблицы, созданную для соответствующего Пред.

3. Из Пред и След создать новую таблицу строк ПС, дополнив построенную таблицу столбцом с именем ПС и для каждой строки поместив в столбец ПС содержимое соответствующих столбцов Пред и След, соединённых знаком $\to$:

Пред	След	ПС
α_1	β_1	$\alpha_1 \to \beta_1$
α_2	β_2	$\alpha_2 \to \beta_2$
$\dots$	$\dots$	$\dots$
α_n	β_n	$\alpha_n \to \beta_n$

Здесь α, β (с индексами) есть цепочки символов.

4. Пусть α, β, γ (возможно, с индексами) есть цепочки символов. В ПС произвести следующие преобразования строк:

4.1. Строки вида $\begin{matrix} \alpha \to \beta_1 \\ \alpha \to \beta_2 \end{matrix}$ заменить на $\alpha \to (\beta_1 \vee \beta_2)$

4.2. Строки вида $\begin{matrix} \alpha \to \beta \\ \gamma \to \beta \end{matrix}$ заменить на $(\alpha \wedge \gamma) \to \beta$

4.3. Если в ПС есть несколько одинаковых строк, то все эти одинаковые строки заменить на одну:

$$\begin{matrix} \alpha_1 \to \beta_1 \\ \alpha_1 \to \beta_1 \\ \alpha_2 \to \beta_2 \end{matrix} \quad \text{заменить на} \quad \begin{matrix} \alpha_1 \to \beta_1 \\ \alpha_2 \to \beta_2 \end{matrix}$$

4.4. Для α и β, не содержащих символов $(,),+,\vee,\wedge$:

4.4.1. пары строк вида $\begin{matrix}\gamma_1\alpha\beta\gamma_2 \to \delta \\ \alpha \to \alpha\beta\end{matrix}$ заменить на $\gamma_1(\alpha+\alpha\beta)\gamma_2 \to \delta$

Если в полученном ПС вновь есть строки такого вида, повторить п.4.4.1.

Здесь в строящемся выражении для соответствующих стрелок добавляется информация о том, из каких точек выходов блоков эти стрелки вышли.

4.4.2. пары строк вида $\begin{matrix}\delta \to \gamma_1\alpha\beta\gamma_2 \\ \alpha\beta \to \beta\end{matrix}$ заменить на $\delta \to \gamma_1(\alpha\beta+\beta)\gamma_2$

Если в полученном ПС вновь есть строки такого вида, повторить п.4.4.2.

Здесь в строящемся выражении для соответствующих стрелок добавляется информация о том, в какие точки входов блоков эти стрелки вошли.

4.5. Строки вида $\begin{matrix}\alpha_1\beta\alpha_2 \to \gamma \\ \delta \to \sigma_1\beta\sigma_2\end{matrix}$ заменить на $\alpha_1(\delta+(\sigma_1\beta\sigma_2))\alpha_2 \to \gamma$

Если в полученном ПС вновь есть строки такого вида, повторить п.4.5.

Здесь $\alpha_1,\alpha_2,\sigma_1,\sigma_2$ могут быть пусты.

4.6. Строки вида $\begin{matrix}\alpha_1\beta\alpha_2 \to \gamma_1 \\ \rho_1\beta\rho_2 \to \gamma_2\end{matrix}$ заменить на $\alpha_1(\rho_1\beta\rho_2+\gamma_2)\alpha_2 \to \gamma_1$

Здесь $\alpha_1,\alpha_2,\gamma 1,\gamma_2,\rho_1,\rho_2$ могут быть пусты.
Если в полученном ПС вновь есть строки такого вида, повторить п.4.6.

4.7. Строки вида $\begin{matrix}\alpha_1\beta\alpha_2 \to \gamma_1\sigma\gamma_2 \\ \rho_1\beta\rho_2 \to \delta_1\sigma\delta_2\end{matrix}$ заменить на $\alpha_1\rho_1\beta\rho_2\alpha_2 \to \delta_1\gamma_1\sigma\gamma_2\delta_2$

Если в полученном ПС вновь есть строки такого вида, повторить п.4.7.

Здесь $\alpha_1,\alpha_2,\gamma_1,\gamma_2,\delta_1,\delta_1,\rho_1,\rho_2$ могут быть пусты.

4.8. Повторять шаги 4.1 - 4.7, пока в ПС не останется:

4.8.1. либо одна строка вида $\alpha \to \beta$, по которой получить искомое выражение $\alpha+\beta$,

4.8.2. либо в ПС останется n строк вида

$\alpha_1 \to \beta_1$

...

$\alpha_n \to \beta_n$

причём, в $\alpha_1,\beta_1,\ldots,\alpha_n,\beta_n$ нет стрелок с одинаковыми именами.

По этим строкам получить искомое выражение $\alpha_1+\beta_1+\cdots+\alpha_n+\beta_n$.

3.3 Применение алгоритма для построения выражения для диаграмм языка HTD

Точки входов-выходов блоков на диаграмме в соответствии с нотацией HTD имеют следующую нумерацию:

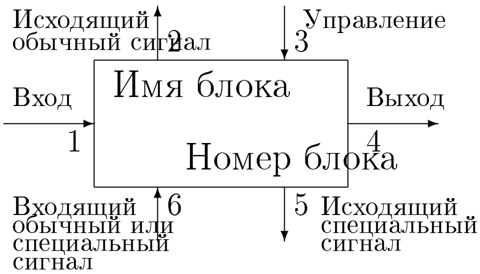

Рис. 11. Точки входов-выходов блоков языка HTD

В соответствии с входной графической грамматикой языка HTD стрелки имеют имена, состоящие из имени хвоста и имени наконечника, так, стрелка, ведущая из точки x6 в точку x5, будет иметь имя x6x5, из x5 в точку 6 входа в блок F – x5F6, из точки выхода блока B в точку x3 – B4x3. Иногда имя хвоста стрелки будем называть первым именем, имя наконечника – последним.

Пусть требуется построить выражение, соответствующее диаграмме $D1$ на Рис.10.

3.3.1 Построение матрицы смежности диаграммы

1. Построить матрицу смежности для стрелок:

1.1. Создать таблицу имен для входов-выходов блоков и стрелок.

Таблица 1: Построенная матрица смежности диаграммы D1

	B2x1	B5x2	C2x1	C5x3	x1A6	x3x2	x2D6	x3E6	A6	D6	E6
B2	1										
B5		1									
C2			1								
C5				1							
B2x1					1						
B5x2							1				
C2x1					1						
C5x3						1		1			
x3x2							1				
x1A6									1		
x2D6										1	
x3E6											1

1.2. Имена из таблицы имён расположить в столбец. Над этим столбцом со сдвигом на 1 вправо расположить строку, полученную транспонированием столбца. Полученный столбец назовём столбцом имён, строку – строкой имён.

1.3. Из столбца имён удалить строки с именами точек входа в блоки.

1.4. Из строки имён удалить столбцы с именами точек выхода из блоков.

1.5. Для всех элементов матрицы смежности выполнить следующее действие: элементу матрицы смежности присвоить 1, если последнее имя в столбце имён совпадает с первым именем строки имён.

1.6. Если в матрице смежности оказались строки, не содержащие ни одной «1», то для стрелки с именем, соответствующим такой строке, не указана точка входа.

1.7. Если в матрице смежности оказались столбцы, не содержащие ни одной «1», то для стрелки с именем, соответствующем такому столбцу, не указана точка выхода.

1.8. Матрица смежности создана (См. Табл. 1).

Далее в скобках указаны номера шагов алгоритма 3.2 построения выражения.

2. Создание таблиц Пред, След и ПС

2. Результат выполнения шага (2.1):

Пред	След
$B2x1 \wedge C2x1$	$x1A6$
$B5x2 \wedge x3x2$	$x2D6$

3. Результат выполнения шага (2.2):

Пред	След
$B2x1 \wedge C2x1$	$x1A6$
$B5x2 \wedge x3x2$	$x2D6$
$C5x3$	$x3x2 \vee x3E6$

4. Результат выполнения шага (2.3):

Пред	След
$B2x1 \wedge C2x1$	$x1A6$
$B5x2 \wedge x3x2$	$x2D6$
$C5x3$	$x3x2 \vee x3E6$
$B2$	$B2x1$
$B5$	$B5x2$
$C2$	$C2x1$
$C5$	$C5x3$
$x1A6$	$A6$
$x2D6$	$D6$
$x3E6$	$E6$

5. Результат выполнения шага (3):

Пред	След	ПС
$B2x1 \wedge C2x1$	$x1A6$	$B2x1 \wedge C2x1 \to x1A6$
$B5x2 \wedge x3x2$	$x2D6$	$B5x2 \wedge x3x2 \to x2D6$
$C5x3$	$x3x2 \vee x3E6$	$C5x3 \to x3x2 \vee x3E6$
$B2$	$B2x1$	$B2 \to B2x1$
$B5$	$B5x2$	$B5 \to B5x2$
$C2$	$C2x1$	$C2 \to C2x1$
$C5$	$C5x3$	$C5 \to C5x3$
$x1A6$	$A6$	$x1A6 \to A6$
$x2D6$	$D6$	$x2D6 \to D6$
$x3E6$	$E6$	$x3E6 \to E6$

6. п.п. 4.1, 4.2, 4.3 алгоритма не выполняются, так как в полученной матрице смежности нет строк такого вида.

7. Результат выполнения шага (4.4.1):

Первая итерация. Преобразуются пары строк из столбца «ПС до преобразования» в строки в столбце «ПС после преобразования», помеченные (1), (2) и (3):

ПС до преобразования	ПС после преобразования
$(1)\ \overbrace{B2}^{\alpha}\ \overbrace{x1}^{\beta}\ \overbrace{\wedge C2x1}^{\gamma 2} \to \overbrace{x1A6}^{\delta}$	$(1)(B2+B2x1) \wedge C2x1 \to x1A6$
$(2)\ \overbrace{B5}^{\alpha}\ \overbrace{x2}^{\beta}\ \overbrace{\wedge x3x2}^{\gamma 2} \to \overbrace{x2D6}^{\delta}$	$(2)(B5+B5x2) \wedge x3x2 \to x2D6$
$(3)\ \overbrace{C5}^{\alpha}\ \overbrace{x3}^{\beta} \to \overbrace{x3x2 \vee x3E6}^{\delta}$	$(3)(C5+C5x3) \to x3x2 \vee x3E6$
$(1)\ \overbrace{B2}^{\alpha} \to \overbrace{B2}^{\alpha}\ \overbrace{x1}^{\beta}$	
$(2)\ \overbrace{B5}^{\alpha} \to \overbrace{B5}^{\alpha}\ \overbrace{x2}^{\beta}$	
$C2 \to C2x1$	$C2 \to C2x1$
$(3)\ \overbrace{C5}^{\alpha} \to \overbrace{C5}^{\alpha}\ \overbrace{x3}^{\beta}$	
$x1A6 \to A6$	$x1A6 \to A6$
$x2D6 \to D6$	$x2D6 \to D6$
$x3E6 \to E6$	$x3E6 \to E6$

8. Вторая итерация. Преобразуются пары строк, помеченные (1):

ПС до преобразования	ПС после преобразования
$(1)\ \overbrace{(B2+B2x1)\wedge}^{\gamma 1}\ \overbrace{C2}^{\alpha}\ \overbrace{x1}^{\beta} \to \overbrace{x1A6}^{\delta}$	$(1)(B2+B2x1) \wedge (C2+C2x1) \to x1A6$
$(B5+B5x2) \wedge x3x2 \to x2D6$	$(B5+B5x2) \wedge x3x2 \to x2D6$
$(C5+C5x3) \to x3x2 \vee x3E6$	$(C5+C5x3) \to x3x2 \vee x3E6$
$(1)\ \overbrace{C2}^{\alpha} \to \overbrace{C2}^{\alpha}\ \overbrace{x1}^{\beta}$	
$x1A6 \to A6$	$x1A6 \to A6$
$x2D6 \to D6$	$x2D6 \to D6$
$x3E6 \to E6$	$x3E6 \to E6$

9. Результат выполнения шага (4.4.2). Преобразуются пары строк из столбца «ПС до преобразования» в строки в столбце «ПС после преобразования», помеченные (1), (2) и (3):

ПС до преобразования	ПС после преобразования
$(1)\,\overbrace{(B2+B2x1)\wedge(C2+C2x1)}^{\delta}\rightarrow \overbrace{x1}^{\alpha}\,\overbrace{A6}^{\beta}$	$(1)(B2+B2x1)\wedge(C2+C2x1)\rightarrow (x1A6+A6)$
$(2)\,\overbrace{(B5+B5x2)\wedge x3x2}^{\delta}\rightarrow \overbrace{x2}^{\alpha}\,\overbrace{D6}^{\beta}$	$(2)(B5+B5x2)\wedge x3x2\rightarrow(x2D6+D6)$
$(3)\,\overbrace{(C5+C5x3)}^{\delta}\rightarrow \overbrace{x3x2\vee}^{\gamma 1}\,\overbrace{x3}^{\alpha}\,\overbrace{E6}^{\beta}$	$(3)(C5+C5x3)\rightarrow x3x2\vee(x3E6+E6)$
$(1)\,\overbrace{x1}^{\alpha}\,\overbrace{A6}^{\beta}\rightarrow\overbrace{A6}^{\beta}$	
$(2)\,\overbrace{x2}^{\alpha}\,\overbrace{D6}^{\beta}\rightarrow\overbrace{D6}^{\beta}$	
$(3)\,\overbrace{x3}^{\alpha}\,\overbrace{E6}^{\beta}\rightarrow\overbrace{E6}^{\beta}$	

10. Результат выполнения шага (4.5). Преобразуются пары строк из столбца «ПС до преобразования» в строки в столбце «ПС после преобразования», помеченные (1):

ПС до преобразования	ПС после преобразования
$(B2+B2x1)\wedge(C2+C2x1)\rightarrow$ $(x1A6+A6)$	$(B2+B2x1)\wedge(C2+C2x1)\rightarrow$ $(x1A6+A6)$
$(1)\,\overbrace{(B5+B5x2)\wedge}^{\alpha}\,\overbrace{x3x2}^{\beta}\rightarrow\overbrace{(x2D6+D6)}^{\gamma}$ $(1)\,\overbrace{(C5+C5x3)}^{\delta}\rightarrow\overbrace{x3x2}^{\beta}\,\overbrace{\vee(x3E6+E6)}^{\sigma 2}$	$(1)(B5+B5x2)\wedge((C5+C5x3)+$ $(x3x2\vee(x3E6+E6)))\rightarrow(x2D6+D6)$

11. п.п. 4.6, 4.7, 4.8.1 алгоритма не выполняются, так как в полученном столбце «ПС после преобразования» нет строк такого вида.

12. Результат выполнения шага (4.8.2):

$(B2+B2x1)\wedge(C2+C2x1)+(x1A6+A6)+(B5+B5x2)\wedge((C5+C5x3)+(x3x2\vee(x3E6+E6)))+(x2D6+D6)$

Выражение построено.

Замечание 2. Построив по диаграмме выражение и затем восставновив по выражению диаграмму, получим результат, идентичный исходному.

Действительно, при построении по диаграмме D выражения V (п.3.2) строится матрица смежности диаграммы (п. 3.3.1) и на шаге 1.1 создаётся множество имён объектов диаграммы. Назовём это множество $Name(D)$. Пусть $Name(MC)$ - множество имён, встречающихся в созданной матрице смежности, NS и NC - множество имён из строки имён и множество имён из столбца имён созданной матрицы смежности, соответственно. Ясно, что $Name(MC) = NS \cup NC$. Из шага 1 п. 3.3.1 следует, что $Name(D) = Name(MC)$.

Пусть $Name(PredSled)$ - множество имён, встречающихся в таблице Пред и След, $Name(PS)$ - множество имён, встречающихся в таблице ПС. При создании таблицы Пред и След (шаг 2 п.3.2) в неё переносятся имена из соответствующих столбца и строки матрицы смежности, новые имена не возникают, существующие не уничтожаются, следовательно, $Name(PredSled) = Name(MC)$.

Создание таблицы строк ПС (3.2.3) не меняет множество $Name(PredSled)$, следовательно, $Name(PS) = Name(PredSled)$.

Легко видеть, что преобразования таблицы ПС на шаге 4 (п.3.2) не меняют $Name(PS)$, следовательно, получившееся в ПС выражение содержит множество имён $Name(V)$ такое, что $Name(V) = Name(PS) = Name(PredSled) = Name(MC) = Name(D)$. Таким образом, при построении по диаграмме D выражения V множество имён объектов диаграммы совпадает с множеством имён объектов, входящих в выражение: $Name(D) = Name(V)$.

Далее, пусть в процессе построения диаграммы по полученному выражению V возникла диаграмма $D1$, не совпадающая с D: $Name(D1) \neq Name(D)$. Следовательно,

1) либо существует объект c с именем $Name(c)$ такой, что $Name(c) \in Name(V)$, $c \in D$, но $c \notin D1$,

2) либо существует объект c с именем $Name(c)$ такой, что $Name(c) \in Name(V)$, $c \notin D$, но $c \in D1$.

В первом случае имени этого объекта $Name(c)$ нет среди имён объектов $Name(D1)$. Но $Name(D1) = Name(V)$ по лемме 1, следовательно, имя этого объекта $Name(c) \notin Name(V)$. Получили противоречие.

Доказательство второго случая проводится аналогично.

Следовательно, $Name(V) = Name(D1) = Name(D)$, то есть, построив по диаграмме выражение и затем восставновив по выражению диаграмму, получили диаграмму, идентичную исходной.

Заключение

Введены понятия действия, оцениваемого по заданному качественному признаку, результата действия в бизнес-процессе, определены целевые функции субъектов управления, связанные с критериями выполнения бизнес-процессов.

Рассмотрена нотация, предназначенная для графического описания иерархических систем управления. Для использования такой нотации разработан язык иерархических типизированных диаграмм (the Hierarchical Typified Diagrams Language). Введена грамматика, порождающая по выражению специального вида диаграммы HTD-языка. Создан эффективный алгоритм, позволяющий по HTD-диаграмме построить выражение, однозначно соответствующее этой диаграмме.

Пользователю, создающему диаграммы, описывающие иерархические системы управления, бывает трудно избежать ошибок, возникающих из-за несоответствия типов используемых при создании диаграмм стрелок, которые могут ветвиться и сливаться на пути от точки выхода одного до точки входа другого блока.

Для контроля правильности действий пользователя предлагается, опираясь на грамматику, порождающую HTD-диаграммы, после каждого действия, изменяющего строящуюся HTD-диаграмму, построить по алгоритму (Лемма 2) выражение, соответствующее текущей HTD-диаграмме, и проверить выводимость этого выражения. Показано, что по заданному выражению однозначно восстанавливается исходная диаграмма (Лемма 1).

После завершения построения HTD-диаграммы для задания критериев управления бизнес-процессом необходимо сформировать все имеющиеся пути из блоков в блоки по алгоритму построения путей в HTD-диаграмме.

Список литературы

[1] 1 Р50.1.028-2001. Методология функционального моделирования IDEF0. - М.: Госстандарт России, 2000.

[2] Щелованов Л.Н., Антонова Г.С., Доронин Е.М. Основы теории автоматического управления. Учебное пособие - СПб : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 1993.

[3] Дадеркин Д.О. О графических типизированных диаграммах - Алгебра, логика и приложения. - Тезисы докладов международной конференции. - Красноярск.: Сибирский федеральный университет, 2010. - С.30-31