

УДК 621.391

# МЕТОД ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТЬЮ



**В.Н. УШАНЬ**

Харьковский университет  
Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

***Abstract** – A method of logical inference for solving of resource management problem in the telecommunications network is proposed. The result of logical inference is the transformation of the original problem into proving of existence of a plan to achieve the global goal that satisfies the given initial conditions for functioning of the telecommunications network. The inference was performed by several steps implemented consistently. They allow to reduce the dimension of the original network model and to construct a finite set of a solutions within a reasonable timeframe. The proposed method of logical inference is based on the address filling of matrix elements and explicit accounting of telecommunications network resource's implementability. This approach allows us to consider only really time and resource realizable solutions, but does not guarantee the best solution according to some criterion. As a basis for prioritization of synthesized decisions a method of hierarchy analysis was selected. As criterion for ranking of synthesized solutions ratio of benefits to costs was implemented.*

***Анотація** – Запропоновано метод логічного висновку для вирішення завдань управління ресурсами телекомунікаційної мережі. Результатом логічного виводу є трансформація вихідної задачі у задачу доказу існування плану досягнення глобальної мети, що задовольняє заданим початковим умовам функціонування телекомунікаційної мережі.*

***Анотация** – Предложен метод логического вывода для решения задач управления ресурсами телекоммуникационной сети. Результатом логического вывода является трансформация исходной задачи в задачу доказательства существования плана достижения глобальной цели, удовлетворяющего заданным начальным условиям функционирования телекоммуникационной сети.*

## Введение

**Постановка проблемы.** Задачи управления телекоммуникационной сетью (ТКС) логико-аналитического характера могут быть представлены в пространстве состояний, в виде теорем, посредством сведения задач к подзадачам и комбинированным способом [1]. Анализ способов представления задач и особенностей их реализации [2] показывает, что самым эффективным является комбинированное представление. Данные задачи характеризуются определенной последовательностью операций, которую лица, принимающие решения (ЛПР), реализуют при поиске решений. Однако в большинстве случаев в знаниях ЛПР об указанных задачах преобладают эвристики [3].

Следовательно, возможно использование аксиоматического подхода при построении аппарата формализации соответствующей системы поддержки принятия

решений (СППР) [2, 3]. Формализация знаний с использованием иерархии уровней их представления создает предпосылки для решения широкого класса прикладных задач автоматизации управления ТКС. Логический подход к представлению и обработке знаний предполагает трансформацию исходной задачи в задачу доказательства существования плана достижения глобальной цели, удовлетворяющего заданным начальным условиям [3]. В этой связи актуально определение конструктивного подхода к организации логического вывода (ЛВ) в СППР.

## I. Анализ последних исследований и публикаций

Принципы структуризации знаний, описание динамических свойств предметной области и технологические аспекты реализуемости ЛВ накладывают существенные ограничения на содержание метода ЛВ.

К методу логического вывода предъявляются объединенные в три группы требования, обусловленные особенностями (табл. 1):

- решаемых задач [2];
- метода представления знаний [1];
- реализуемостью процедуры ЛВ [1].

Согласно теореме Геделя о полноте, синтаксическое и семантическое определения выводимости эквивалентны в исчислении предикатов [1]. Данное определение позволяет разрабатывать метод ЛВ, основанный на семантическом определении логического следования и имеющий место в предложенной сетевой модели (СМ).

Таблица 1. Требования, предъявляемые к методу логического вывода

Требования к методу логического вывода, обусловленные особенностями		
решаемых задач	метода представления знаний	реализуемости
универсальность	конструктивность	строгость метода
единство принципов обработки знаний и данных различного характера	эффективность	получение решения для заданных значений начальных условий
гарантия получения результата, если он существует	полнота	работа на иерархической обобщенной сетевой модели
организация поиска плана решения в прямом и обратном направлении	реализуемость	наличие средств фиксации факта завершения логического вывода
совместная выполнимость синтезированных планов		получение решения в условиях неполноты исходной информации
		распознавание противоречивости и неполноты знаний
		учет вещественно-энергетического аспекта знаний

Для разработки метода логического вывода используем как основу один из достаточно полно разработанных строгих методов. Дополним его рядом средств, которые обеспечат выполнение перечисленных требований. Однако строгий логический

вывод характеризуется проблемами перебора и доказательства реализуемости возможных вариантов решений. Вычислительная сложность строгих процедур логического вывода по причине регулярности настолько велика, что делает проблематичным их использование [2].

Реализация логического вывода затруднена также из-за необходимости манипулирования знаниями в иерархической базе знаний (БЗ). Основную трудность при этом составляет вопрос о соотношении результатов логического вывода, полученных на различных уровнях иерархической БЗ.

Для снижения вычислительной сложности метода рекомендуется использование эвристик. Посредством их кодируется накопленный опыт ЛПР. С другой стороны, использование эвристик может нарушить строгость ЛВ. При использовании эвристик процедура логического вывода останется строгой, если соответствующее формализованное представление задачи гарантирует эту строгость [2]. Предварительный контроль корректности формализованных описаний фактически исключает нарушение строгости логического вывода в рассматриваемом здесь смысле [1, 2].

Определим пригодность известных методов логического вывода для удовлетворения требованиям (табл. 1) [1, 2].

Для автоматизации процесса получения следствий из системы аксиом исчисления и формальных теорий используются методы автоматического доказательства теорем [3]. Подробное изложение сущности, возможностей и области применимости этих методов ЛВ можно найти в работах [1, 2]. Известны такие стратегии поиска решений [2]:

- а) в прямом направлении – от начальных условий (НУ) к целевым состояниям (ЦУ);
- б) в обратном направлении – от ЦУ к НУ;
- в) двунаправленный – в прямом и обратном направлениях одновременно.

С точки зрения реализуемости и хода рассуждения экспертов целесообразно использовать стратегию поиска в прямом направлении.

Среди методов автоматического доказательства теорем известны два эффективных метода ЛВ, основанных на этой стратегии: метод резолюций и обратный метод [2]. Метод резолюций является эффективной процедурой доказательства для классического исчисления предикатов 1-го порядка. Однако он не соответствует требованиям, вытекающим из специфики предметной области и аппарата формализации. Обратный метод по эффективности не уступает методу резолюций [2], но имеет более широкую область применимости. Сущность его состоит в построении исчисления благоприятных наборов (интерпретаций), связанного с исходным исчислением, выводимость в котором эквивалентна выводимости в исходном. Данный метод соответствует сформулированным требованиям. Невозможность его применения в предложенном в работах [2] виде обусловлена ориентированностью на двухзначную логику и доказательство только истинности формул.

Таким образом, известные методы автоматического доказательства теорем не могут быть применимы для проведения логического вывода [2]. Необходима разработка соответствующего метода ЛВ, учитывающего перечисленные требования.

Цель статьи состоит в разработке метода логического вывода в системе поддержки принятия решений для управления телекоммуникационной сетью, удовлетворяющего предложенным требованиям.

## II. Метод логического вывода в системе поддержки принятия решений для управления телекоммуникационной сетью

Составной частью процессов манипулирования знаниями является процедура ЛВ. Ее первая составляющая соответствует формальной системе и не изменяется при пополнении БЗ. Вторая составляющая отражает конкретные свойства предметной области и фактически представляет собой эвристики. Семантическая резолюция формально строго определена, универсальна и строго математически корректна. Это позволяет синтезировать планы в системах планирования решений [2]. Однако использование предложенного подхода в иерархической БЗ затруднено из-за соотношения результатов ЛВ, полученных на различных уровнях иерархической БЗ.

Таундсен [4] доказал, что при разбиении области поиска задачи на иерархические уровни абстракции вначале отыскивается решение для наивысшего уровня. На каждом последующем шаге поиск решения сопровождается увеличением степени детализации в рамках той же формальной теории (ФТ). Фактически речь идет о ЛВ с пошаговым увеличением степени детализации на ФТ традиционной структуры.

Реализация строгого ЛВ в иерархической БЗ, описывающей динамические свойства соответствующей предметной области (ПО), имеет особенности. Он возможен лишь в рамках одного из уровней иерархии в отдельности либо в рамках целой совокупности уровней  $\phi'_N$ , рассматриваемых как единый (базовый) уровень.

В иерархической БЗ метазнания формализуются при создании системы, а знания более низких уровней иерархии – непосредственно в процессе эксплуатации (рис. 1) [2].

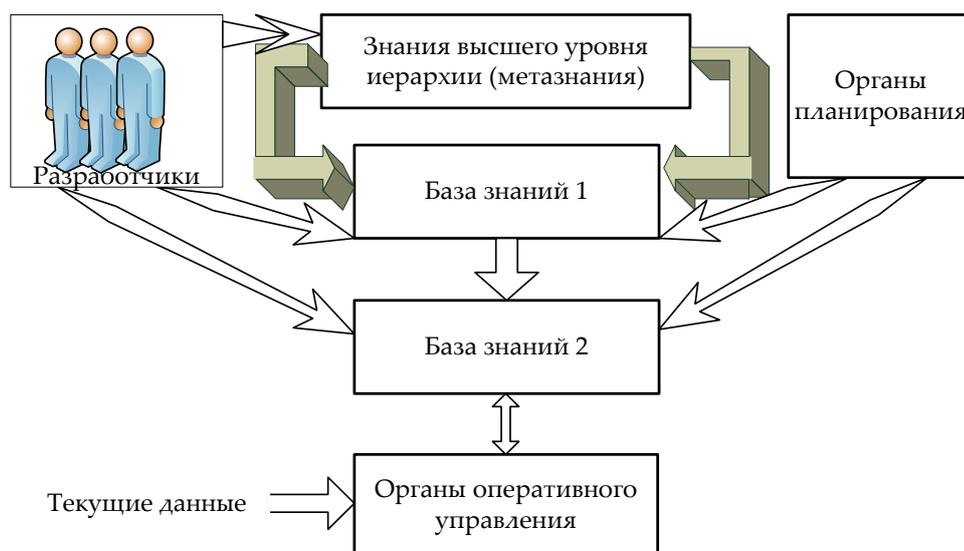


Рис. 1. Структура иерархической базы знаний

Структура логических взаимосвязей БЗ приведена на рис. 2.

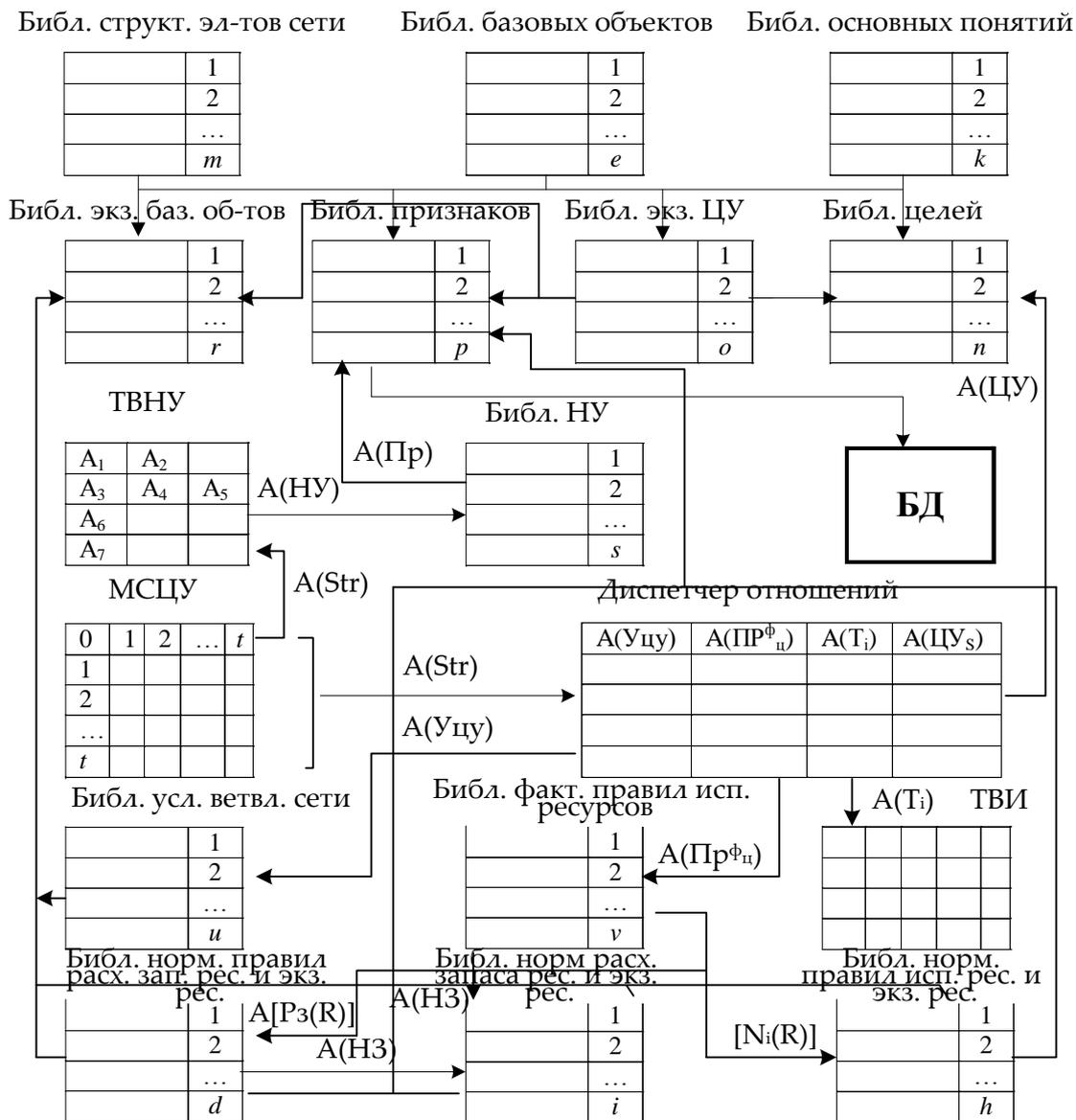


Рис. 2. Структура логических взаимосвязей элементов иерархической базы знаний системы поддержки принятия решений

База знаний метауровней включает следующие библиотеки:

- структурных элементов сети;
- основных понятий предметной области;
- базовых объектов ПО.

В состав БЗ первого уровня входят библиотеки:

- экземпляров объектов ПО, являющихся семантической интерпретацией базовых объектов в соответствии с конкретными задачами;
- признаков, определяющих прагматическую истинность структурных эле-

ментов БЗ;

– нормативных правил использования ресурсов управляющей системы, ресурсов объектов управления и расходования их запаса;

– нормативных правил использования экземпляров ресурсов;

– экземпляров целей системы;

– начальных условий.

База знаний второго уровня иерархии имеет:

– библиотеки целевых установок системы;

– библиотеки фактических правил использования ресурсов;

– таблицы временных интервалов достижения целей;

– библиотеки условий ветвления сети.

Таким образом, в предложенной иерархической БЗ знания высшего, первого и второго уровней составляют единый базовый уровень.

Рассмотрим последовательность достижения целей в предметной области, представленной сетевой моделью (рис. 3) и соответствующей ей матрицей смежности (табл. 2) [2, 3]. Посредством матриц возможно корректное представление графа однородной сети с точностью до изоморфизма. Обобщение отношений позволяет рассматривать неоднородную сеть (отношения времени, ресурсы и т.д.) как однородную.

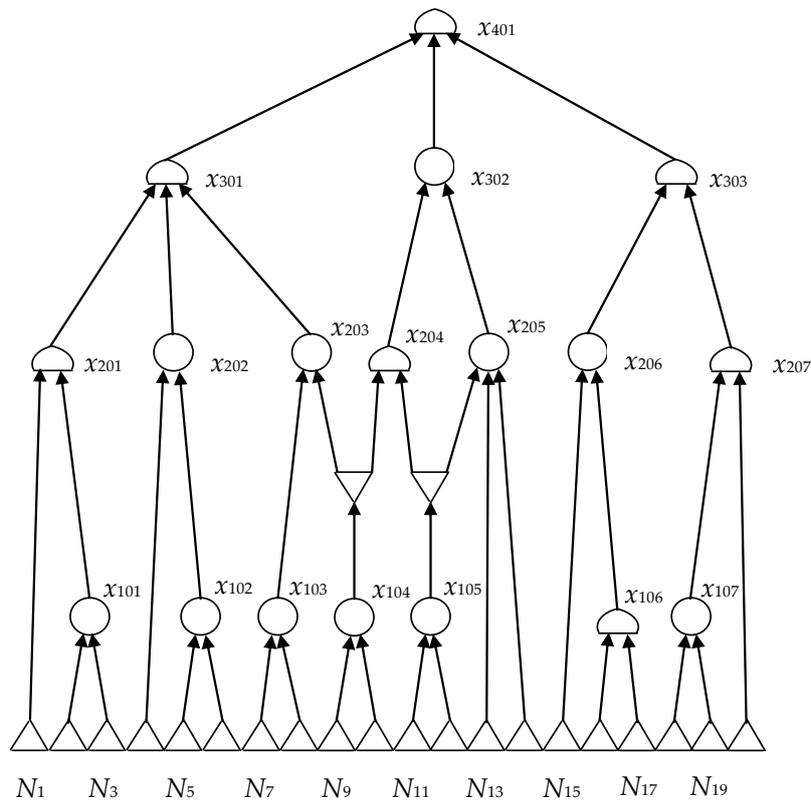


Рис. 3. Модель предметной области, представленная сетевой моделью

Таблица 2. Матрица смежности целевых установок, соответствующая сетевой модели

	0	101	102	103	104	105	106	107	201	202	203	204	205	206	207	301	302	303	401
0		P	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P	P				
101	S								P										
102	S								P										
103	S										P								
104	S										P	P							
105	S											P	P						
106	S													P					
107	S														P				
201	S	S																P	
202	S		S															P	
203				S	S													P	
204					S	S													P
205	S					S												P	
206	S						S												P
207	S							S											P
301									S	S	S								P
302												S	S						P
303													S	S					P
401																S	S	S	

Элементы матрицы смежности целевых установок (ЦУ) отражают только наличие отношений между ними, но не раскрывают характер самих отношений. Отношения между ЦУ, представленными матрицами смежности, описываются символами 0 и 1. Их анализ в процессе логического вывода существенно увеличивает время синтеза решения. Переход от символьного заполнения элементов матриц к адресному позволяет:

- сократить количество операций символьного анализа;
- сократить размерность матриц за счет хранения только ненулевых ее элементов;
- реализовать прямой доступ к набору начальных условий (НУ) через соответствующую таблицу.

Целевые установки и начальные условия связаны через соответствующую матрицу смежности ЦУ. Она представляет собой квадратную матрицу размера  $(n+1) \times (n+1)$ , где  $n$  – количество ЦУ в сетевой модели. В нее также вводится «нулевая целевая установка»  $x_0$ . Наличие ненулевого элемента в строке  $x_0$  свидетельствует о смежности ЦУ с некоторым набором начальных условий. В таблице взаимосвязи с НУ хранятся адреса смежных НУ. В библиотеке НУ размещаются адреса, по которым находятся значения признаков, описывающих событие. Обращение к элементам библиотеки НУ осуществляется по номеру ЦУ, для которой определяются значения истинности НУ.

Достижимость нулевой ЦУ определяется путем сравнения текущих значений признаков  $\{\pi_1^t, \dots, \pi_m^t\}$  НУ с потребными их значениями  $\{\pi_1^p, \dots, \pi_m^p\}$ .

Метод логического вывода, используя прямую стратегию поиска решений, со-

стоит из следующих этапов (рис. 4):

1. Означивание начальных условий.
2. Построение адресной матрицы достижимых ЦУ  $D_{\Delta_0}$ .
3. Синтез множества возможных вариантов действий.
4. Анализ синтезированных вариантов по ресурсам и времени.
5. Ранжирование синтезированных вариантов.

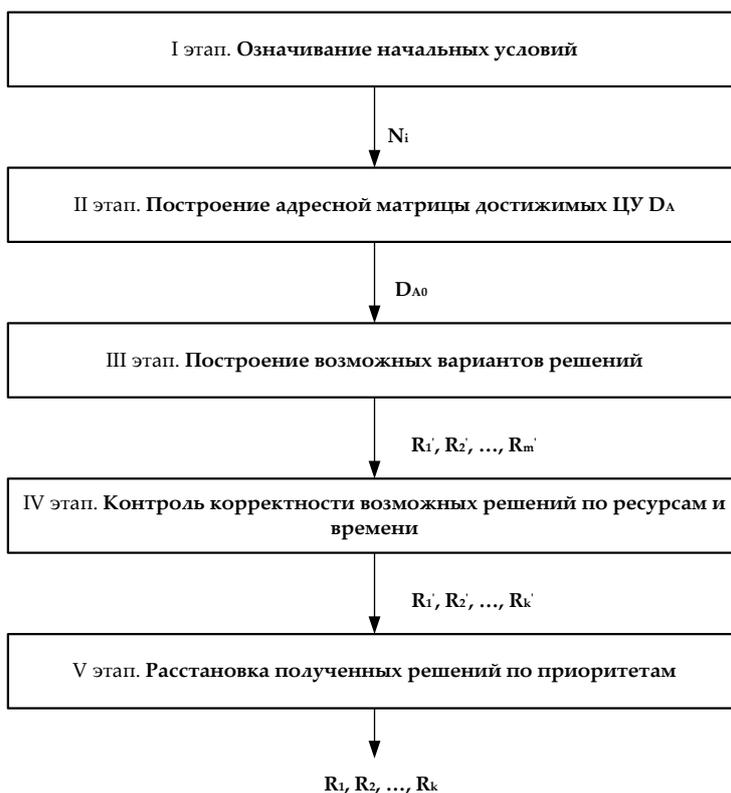


Рис. 4. Метод логического вывода

Рассмотрим содержание операций предложенной процедуры подробнее.

Пусть в произвольный момент времени  $t$  в базу данных СППР поступает определенный набор значений признаков  $\{\pi_1^t, \dots, \pi_m^t\}$ . По ним означиваются НУ  $N_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ). Из библиотеки признаков считываются требуемые значения признаков  $\{\pi_1^p, \dots, \pi_m^p\}$ . В результате сравнения их со значениями поступивших признаков строится таблица означенных НУ  $N_j$ .

Пусть означены НУ  $\{N_2, N_4, \dots, N_{10}, N_{12}, N_{17}, N_{19}, N_{20}\}$  (рис. 5).

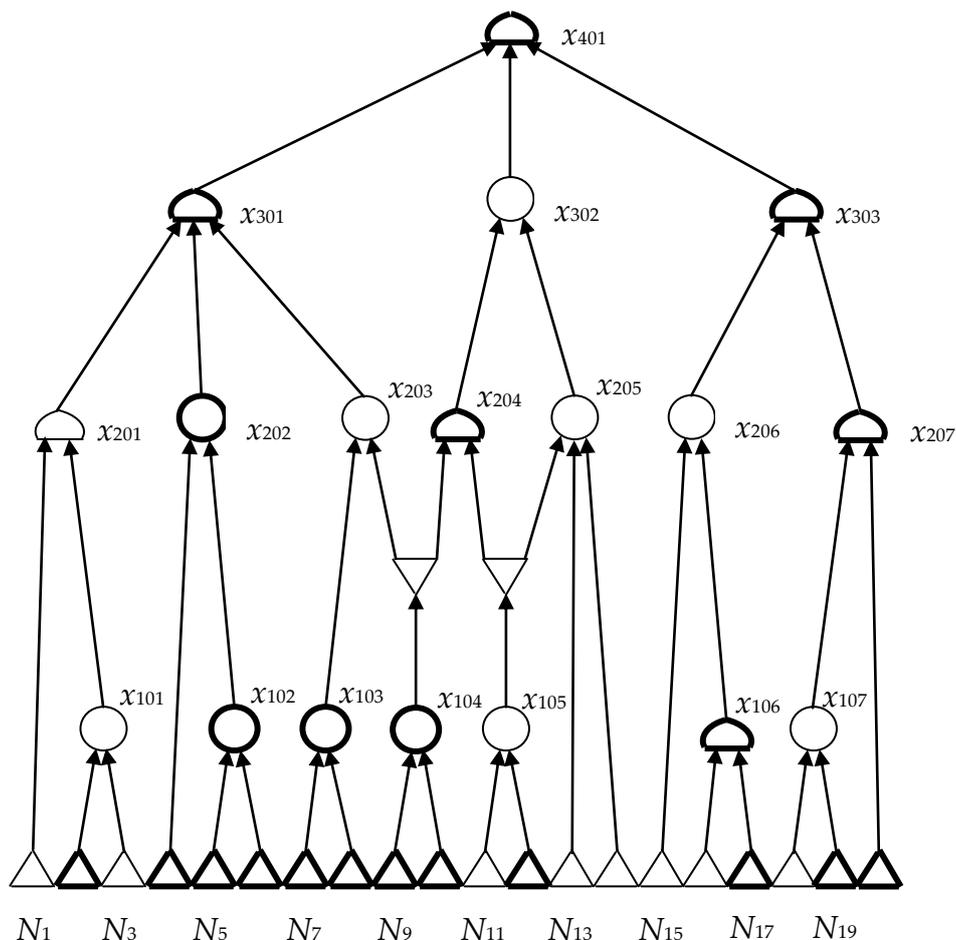


Рис. 5. Сетевая модель с означенными начальными условиями

В таблице взаимосвязи с НУ находим строки, в которых все НУ означены (\*) (строки 2-4, 9, 12 табл. 3). Они соответствуют достижимым ЦУ сети и заносятся в таблицу означенных начальных условий. Строки 8, 10, 11 (\*\*) (табл. 3), в которых все НУ неозначены, соответствуют недостижимым вершинам сети. Они не фиксируются в таблице означенных НУ. Строки 1, 5-7 (табл. 3) с означенными и неозначенными НУ требуют дополнительного анализа.

Отсутствие хотя бы одного из НУ для конъюнктивной вершины означает невозможность ее достижения (строки 1, 5, 7 табл. 3). Дизъюнктивные вершины в таком случае достижимы (строка 6 табл. 3). Тогда таблица взаимосвязи с НУ (табл. 3) трансформируется в таблицу означенных начальных условий (табл. 4). На этом завершается первый этап ЛВ. Для построения конечного множества вариантов уменьшим размерность исходной сетевой модели.

Для уменьшения размерности адресной матрицы смежности ЦУ  $D_d$  выделим в ней адреса только достижимых ЦУ. Для этого в диспетчер отношений последовательно считывается содержимое строк, начиная с первой. В диспетчере отношений для каждого элемента хранятся адреса: об условиях ветвления сети, о фактических правилах использования ресурсов, о временных соотношениях и структуре ЦУ.

Таблица 3. Структура таблицы взаимосвязи с начальными условиями

№ п/п	№ ЦУ	Адреса смежных НУ в библиотеке НУ		
1	101	A(002)	A(003)	
2	102	A(005)	A(006)	*
3	103	A(007)	A(008)	*
4	104	A(009)	A(010)	*
5	105	A(011)	A(012)	
6	106	A(016)	A(017)	
7	107	A(018)	A(019)	
8	201	A(001)		**
9	202	A(004)		*
10	205	A(013)	A(014)	**
11	206	A(015)		**
12	207	A(020)		*

Таблица 4. Таблица означенных начальных условий

№ п/п	№ ЦУ	Адреса смежных НУ в библиотеке НУ		
1	102	A(005)	A(006)	
2	103	A(007)	A(008)	
3	104	A(009)	A(010)	
4	106	A(017)		
5	202	A(004)		
6	207	A(020)		

На первом шаге проверяется достижимость ЦУ первого уровня иерархии и строится соответствующая адресная матрица достижимых ЦУ (табл. 5). Во всех строках, соответствующих достижимым вершинам, записаны адреса смежных с данной ЦУ. В строке, соответствующей нулевой ЦУ, записаны номера достижимых вершин из данной совокупности означенных начальных условий.

Таким образом строятся матрица без изолированных, тупиковых и висящих вершин на первом уровне иерархии и соответствующая ей СМ. Далее проверяются условия достижения ЦУ второго и последующих уровней. В результате строится адресная матрица достижимых ЦУ  $D_{00}$ , составленная только из достижимых вершин (табл. 6). Этой матрице соответствует сетевая модель, представленная на рис. 6. Построением матрицы  $D_{00}$  завершается второй этап ЛВ.

Таблица 5. Адресная матрица достижимых целевых установок

№ п/п	№ ЦУ	Адреса смежных ЦУ					
		102	103	104	106	202	207
1	0	102	103	104	106	202	207
2	102	A(202)					
3	103	A(203)					
4	104	A(203)					
5	106	A(206)					
6	201	A(301)					
7	202	A(301)					
8	203	A(301)					
9	204	A(302)					
10	205	A(302)					
11	206	A(303)					
12	207	A(303)					
13	301	A(401)					
14	302	A(401)					
15	303	A(401)					

Таблица 6. Адресная матрица, составленная только из достижимых целевых установок  $D_{00}$

№ п/п	№ ЦУ	Адреса смежных ЦУ					
		102	103	104	106	202	207
1	0	102	103	104	106	202	207
2	102	A(202)					
3	202	A(301)					
4	204	A(302)					
5	301	A(401)					
6	303	A(401)					

На третьем этапе логического вывода строятся все возможные пути достижения глобальной ЦУ по имеющейся совокупности означенных НУ и соответствующей матрице  $D_{00}$ . Для построения всех возможных вариантов решения задачи могут быть использованы процедуры поиска как в глубину, так и в ширину [5].

На четвертом этапе логического вывода проверяется достижимость глобальной цели по ресурсам и времени. В силу особой значимости временного фактора при решении задач управления авиацией он рассматривается отдельно [6]. Первоначально проверяется достижимость ЦУ по ресурсам. Для этого из матрицы  $D_{00}$  адрес первой ЦУ поступает в диспетчер отношений. Одним из его элементов являются адреса фактических правил использования ресурса в одноименной библиотеке.

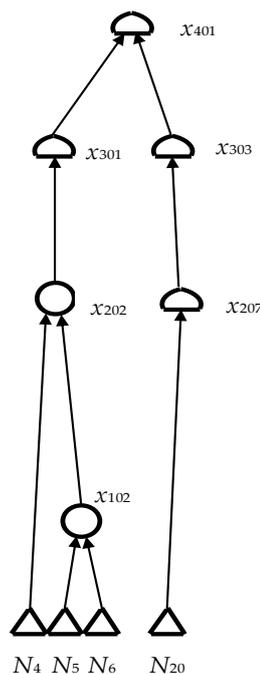


Рис. 6. Сетевая модель, соответствующая матрице  $D_{00}$

Нормативные правила использования ресурса и нормы расхода запаса ресурсов, характерные для того или иного условия, сведены в библиотеку норм расхода запаса ресурсов:

$$P_i = (P_j^* / U_j = Z_j), \quad (1)$$

где  $P_i$  – фактические правила использования ресурсов;  $P_j^*$  – некоторое правило использования ресурсов, составленное из нормативных правил с использованием логических связок;  $U_j$  – условие реализации  $j$ -го правила;  $Z_j$  – значение истинности условия  $U_j$ .

Из рассмотрения исключаются варианты, недостижимые по ресурсам.

Достижимость вершины по времени проверяется по ее номеру через диспетчер отношений путем обращения к таблице временных интервалов (табл. 7). Ее элементом является время достижения ЦУ. Оно определяется заданным интервалом (точечным или линейным)  $t_j^i$  ожидаемого момента достижения цели высшего уровня иерархии из цели более низкого уровня или продолжительностью действия  $t(D_j^i)$ , предшествующего достижению цели:

$$T_j^i = \max[t_j^i, t(D_j^i)]. \quad (2)$$

Из вариантов решения задачи, достижимых по совокупности рассмотренных начальных условий, имеющегося запаса ресурсов и времени, по заданному критер-

рию выбирается наилучший. При отсутствии плана, достижимого по времени, система выбирает вариант(ы) с реальным временем выполнения задачи при наличии данных ресурсов или вариант перемещения ресурсов, обеспечивающий выполнение плана в указанное время.

Таблица 7. Таблица временных интервалов базы знаний

	204	205	206	301	302	303	401
105	$T_{105}^{204}$	$T_{105}^{205}$					
106			$T_{106}^{206}$				
205					$T_{205}^{302}$		
206						$T_{206}^{303}$	

На последнем этапе синтезированные варианты ранжируются по критерию «стоимость-издержки» на основе метода анализа иерархий [7].

В результате ЛПР предлагаются реализуемые варианты плана, построенные в приемлемые сроки на основе совокупности поступивших исходных данных и ранжированные по критерию «стоимость-издержки».

## Выводы

1. Анализ особенностей манипулирования знаниями при решении задач управления телекоммуникационной сетью в системе поддержки принятия решений свидетельствует, что основу процедуры логического вывода составляет семантическая резолюция. Она обеспечивает создание соответствующих средств, реализующих логический вывод с учетом конечного множества реально обеспечиваемых ограничений.

2. Логический подход к представлению знаний предполагает, что результатом логического вывода является трансформация исходной задачи в задачу доказательства существования плана достижения глобальной цели, удовлетворяющего заданным начальным условиям. Существуют проблемы получения решений в требуемом масштабе времени. Они связаны с неопределенностью и противоречивостью исходной информации, использованием в явном виде вещественно-энергетического аспекта знаний, необходимостью реализации гарантирующей стратегии в процессе вывода решений, выбором методов перебора. Достижение поставленной цели осуществляется представлением логического вывода в виде нескольких последовательно реализуемых этапов. Они позволяют уменьшить размерность исходной сетевой модели и построить конечное множество всех вариантов действий в приемлемые сроки.

3. Предложенный метод логического вывода отличается переходом от символического заполнения элементов матриц к адресному и учетом в явном виде веще-

ственно-энергетического аспекта знаний. Это позволяет сократить количество операций символьного анализа, размерность самих матриц за счет хранения только ненулевых ее элементов и реализовать прямой доступ к набору начальных условий через соответствующую таблицу для сокращения времени логического вывода. Такой подход также позволяет еще на этапе планирования рассматривать только реально реализуемые по времени и ресурсам варианты действий, но не гарантирует получения наилучшего по некоторому критерию варианта.

4. В качестве основы для расстановки приоритетов синтезированных решений обоснован и выбран метод анализа иерархий. Предложенный подход расширяет область применения метода анализа иерархий для задач, описанных структурой целевых установок, представляющей собой И-ИЛИ граф. Он позволяет получать значения полезности в шкале отношений. Критерием для ранжирования синтезированных вариантов действий выбрано отношение выгод к издержкам.

5. Метод расстановки приоритетов синтезированных вариантов решений в СППР при управлении телекоммуникационной сетью отличается построением иерархии выгод и издержек и расстановкой соответствующих приоритетов с учетом особенностей рассматриваемой предметной области.

### Список литературы:

1. Искусственный интеллект. – В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
2. *Сетлак Г.* Интеллектуальная система поддержки решений в нечеткой среде // Искусственный интеллект. – ІПШ: «Наука і освіта», 2002. – № 3. - С. 428-438.
3. Применение методов искусственного интеллекта в управлении проектами / Н.М. Бабынин, В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко; под ред. А.Ю. Соколова. – Х: НАУ «ХАІ», 2002. – 474 с.
4. *Таунсенд К.* Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / Пер. с англ. // К. Таунсенд, Д. Фохт. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 320 с.
5. *Попов Э.В.* Экспертные системы: решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 244 с.
6. *Павленко М.А.* Метод разработки системы информационного обеспечения деятельности оператора системы управления интеллектуальной сетью связи / М.А. Павленко, В.М. Руденко, П.Г. Бердник // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – Вип. 5(7). – К.: УНДІЗ, 2008. – С. 33–41.
7. *Козлов С.А.* Особенности методики контроля графа сетевой модели в системе поддержки принятия решений / С.А. Козлов, А.И. Тимочко, Б.Н. Судаков, Д.Э. Двухглавов / Сборник научных трудов ХВУ. – Х: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1996. – Вып. 4(23). – С. 76-81.