

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 12

Москва 2013

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК 165 [004.89 : 510.64]

В.К. Финн

Эпистемологические основания ДСМ-метода автоматического порождения гипотез. Часть II*

Формулируется процедурная семантика для предикатов, которые применяются для формализации ДСМ-рассуждений. Рассматриваются квазиаксиоматические (открытые) теории, используемые для представления знаний в интеллектуальных системах. Определяются средства для оценки качества результатов ДСМ-рассуждений. В заключение предлагается решение естественнонаучной проблемы индукции для интеллектуальных систем.

Ключевые слова: *процедурная семантика, квазиаксиоматические теории, оценка качества ДСМ-рассуждений, эпистемологические основания ДСМ-метода автоматического порождения гипотез*

§3. Процедурная семантика, квазиаксиоматические теории и оценки качества ДСМ-рассуждений.

Напомним строение ДСМ-метода АПГ. Он образован шестью компонентами – условиями применимости, ДСМ-рассуждениями, квазиаксиоматическими теориями, метатеоретическими средствами

исследования предметных областей и рассуждений, средствами распознавания эмпирических закономерностей и, наконец, интеллектуальными системами типа ДСМ (ИС-ДСМ).

В данном разделе рассмотрим представление знаний в ДСМ-методе и его метатеоретические средства. Последние включают процедурную семантику и дедуктивную имитацию ДСМ-рассуждений [9] (Глава 5. О дедуктивной имитации некоторых вариантов ДСМ-метода автоматического порождения гипотез, с. 240 – 286).

Семантика ДСМ-метода образована структурой данных и системой процедур. Причём структуры данных вариативны, а система процедур представле-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-07-00618а) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН (П15, проект № 209). Часть I опубликована в НТИ. Сер. 2. - 2013. - № 9. С. 1-29. Нумерация параграфов и ссылок продолжается.

на стратегиями $Str_{x,y}$ или их множеством \overline{Str} . В настоящей статье рассматривается только булевская структура данных – булева алгебра объектов и подобъектов $\mathfrak{B}_1 = \langle 2^{U^{(1)}}, \emptyset, U^{(1)}, -, \cap, \cup \rangle$ и булева алгебра свойств $\mathfrak{B}_2 = \langle 2^{U^{(2)}}, \emptyset, U^{(2)}, -, \cap, \cup \rangle^1$.

Первой особенностью ДСМ-метода АПГ, отличающей его от других средств машинного обучения (в том числе от деревьев решений и статистических методов), является реализация синтеза познавательных процедур – индукции, аналогии, абдукции и дедукции.

Второй особенностью ДСМ-метода является осуществление принципа – «сходство фактов влечёт наличие (отсутствие) изучаемого эффекта и его повторяемость». Этот принцип отличает ДСМ-метод АПГ от тех средств машинного обучения, в которых сходство определяется посредством повторяемости изучаемого эффекта (его частоты).

В силу этих особенностей ДСМ-метод с необходимостью использует конструктивную процедурную семантику, порождающую предикаты $X \Rightarrow_2 Y$ и $X \Rightarrow_1 Y$ посредством п.п.в.-1 (индукции) и п.п.в.-2 (аналогии), соответственно. Точнее говоря, ДСМ-рассуждение порождает расширение этих предикатов, заданных в начальном состоянии БФ, а затем распространённых на базу примеров – результатов ДСМ-рассуждения.

Процесс порождения этих расширений БФ до базы примеров БП является автоматическим формированием гипотез посредством конструктивных процедур, представленных производными (относительно $X \Rightarrow_1 Y$) предикатами $M_{x,n}^+$, $M_{y,n}^-$ и Π_n^σ , где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$.

Таким образом, базисной процедурной семантикой ДСМ-метода является следующая двухосновная реляционная система

$PrSem = \langle \mathfrak{B}_1, \mathfrak{B}_2, \Rightarrow_1, M_{x,n}^+, M_{y,n}^-, \Rightarrow_2, \Pi_n^+, \Pi_n^-, \Pi_n^0 \rangle$, соответствующая реализации Этапа I ДСМ-рассуждения, порождающего гипотезы о (\pm) -причинах (посредством индукции – п.п.в.-1) и гипотезы о предсказаниях (\pm) -эффектов (посредством аналогии – п.п.в.-2). Окончательное же принятие гипотез происходит на Этапе II ДСМ-рассуждения благодаря реализации абдуктивных схем (a) или (b), определённых в §2.

Этапу II соответствует расширение $PrSem$ посредством метапредиката принятия гипотез Ad . Таким образом, это расширение

$PrSem^a = \langle \mathcal{B}_1, \mathcal{B}_2, \Rightarrow_1, M_{x,n}^+, M_{y,n}^-, \Rightarrow_2, \Pi_n^+, \Pi_n^-, \Pi_n^0, Ad \rangle$.

$PrSem^a$ есть процедурная семантика Этапов I и II ДСМ-рассуждения.

Замечание 1-3. $PrSem$ может быть расширена посредством введения класса стратегий \overline{Str} ; частным же случаем является использование некоторой фиксированной стратегии $Str_{x,y}$ из множества \overline{Str} .

ДСМ-рассуждение есть итеративная организация процедур индукции и аналогии (Этап I), завершающаяся абдуктивным принятием (непринятием) порождённых гипотез (Этап II). Эта организация представляется посредством $PrSem^a$, которой соответствует последовательность тактов

$$(п.п.в.-1 + п.п.в.-2)_1 + \dots + (п.п.в.-1 + п.п.в.-2)_n,$$

где n – номер такта стабилизации ДСМ-рассуждения.

Таким образом, ДСМ-рассуждение есть **рекурсивная** процедура такая, что её базисом является такт $(п.п.в.-1 + п.п.в.-2)_1$, формулируемый ниже.

Изменим индексацию предикатов M^σ и Π^σ следующим образом: каждому такту m соответствуют предикаты M_m^σ и Π_m^σ , где $m = 1, \dots, n$, а n – такт стабилизации ДСМ-рассуждения. Тогда базисом рекурсивной процедуры ДСМ-рассуждения для $Str_{x,y}$ будет Такт 1:

$$(I)_1^+ \frac{\Delta_0, \Omega_0, J_{(\tau,0)}(V \Rightarrow_2 W), M_{x,0}^+(V, W) \& \neg M_{y,0}^-(V, W)}{J_{(1,1)}(V \Rightarrow_2 W)},$$

$$(I)_1^- \frac{\Delta_0, \Omega_0, J_{(\tau,0)}(V \Rightarrow_2 W), \neg M_{x,0}^+(V, W) \& M_{y,0}^-(V, W)}{J_{\langle -1,1 \rangle}(V \Rightarrow_2 W)},$$

$$(I)_1^0 \frac{\Delta_0, \Omega_0, J_{(\tau,0)}(V \Rightarrow_2 W), M_{x,0}^+(V, W) \& M_{y,0}^-(V, W)}{J_{(0,1)}(V \Rightarrow_2 W)},$$

$$(I)_1^\tau \frac{\Delta_0, \Omega_0, J_{(\tau,0)}(V \Rightarrow_2 W), \neg M_{x,0}^+(V, W) \& \neg M_{y,0}^-(V, W)}{J_{(\tau,1)}(V \Rightarrow_2 W)}.$$

$$(II)_1^+ \frac{\Delta_1, \Omega_0, J_{(\tau,1)}(X \Rightarrow_1 Y), \Pi_1^+(X, Y)}{J_{\langle 1,2 \rangle}(X \Rightarrow_1 Y)},$$

$$(II)_1^- \frac{\Delta_1, \Omega_0, J_{(\tau,1)}(X \Rightarrow_1 Y), \Pi_1^-(X, Y)}{J_{\langle -1,2 \rangle}(X \Rightarrow_1 Y)},$$

$$(II)_1^0 \frac{\Delta_1, \Omega_0, J_{(\tau,1)}(X \Rightarrow_1 Y), \Pi_1^0(X, Y)}{J_{(0,2)}(X \Rightarrow_1 Y)},$$

$$(II)_1^\tau \frac{\Delta_1, \Omega_0, J_{(\tau,1)}(X \Rightarrow_1 Y), \Pi_1^\tau(X, Y)}{J_{(\tau,2)}(X \Rightarrow_1 Y)}.$$

Упрощая запись рекурсивной процедуры ДСМ-рассуждения, схематически представим её для n тактов (+) – правил правдоподобного вывода (п.п.в.) следующим образом:

$$\begin{array}{ll} \text{Такт 1.} & M_1^+ \frac{\langle 1,0 \rangle \Rightarrow_1}{\langle 1,1 \rangle \Rightarrow_2} \\ & \Pi_1^+ \frac{\langle 1,1 \rangle \Rightarrow_2}{\langle 1,2 \rangle \Rightarrow_1} \end{array}$$

¹ Важной структурой данных является множество гиперграфов, используемое в ИС-ДСМ для химических задач [9] (Глава 2. ДСМ-метода как система автоматического обучения, с. 51 – 80. С.О. Кузнецов)

Такт 2.	M_2^+	$\frac{\langle 1,2 \rangle \Rightarrow_1}{\langle 1,3 \rangle \Rightarrow_2}$
	Π_2^+	$\frac{\langle 1,3 \rangle \Rightarrow_2}{\langle 1,4 \rangle \Rightarrow_1}$
.....		
Такт n .	M_n^+	$\frac{\langle 1,2n-2 \rangle \Rightarrow_1}{\langle 1,2n-1 \rangle \Rightarrow_2}$
	Π_n^+	$\frac{\langle 1,2n-1 \rangle \Rightarrow_2}{\langle 1,2n \rangle \Rightarrow_1}$

В этом схематическом изображении ДСМ-рассуждения (оно должно быть расширено для случаев M^σ , Π^σ с $\sigma \in \{-, 0, \tau\}$) представлен процесс итеративного порождения предикатов $V \Rightarrow_2 W$ и $X \Rightarrow_1 Y$ из БФ (Такт 1), преобразованной в базу примеров (БП).

Процедурная семантика PrSem основана на теоремах обратимости п.п.в. ДСМ-рассуждений [9] (Глава 5, с. 240 – 286):

$$\forall V \forall W (J_{\langle 1, 2m-1 \rangle} (V \Rightarrow_2 W) \leftrightarrow (J_{\langle \tau, 2m-2 \rangle} (V \Rightarrow_2 W) \& M_m^+(V, W) \& \neg M_m^-(V, W)))$$

(аналогичное имеет место для типов истинностных значений $v = -1, 0, \tau$),

$$\forall X \forall Y (J_{\langle 1, 2m \rangle} (X \Rightarrow_1 Y) \leftrightarrow (J_{\langle \tau, 2m-1 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y) \& \Pi_m^+(X, Y)))$$

(аналогичное имеет место для типов истинностных значений $v = -1, 0, \tau$).

Если воспользоваться этими эквивалентностями и сделать соответствующие замены в предикатах $M_{x,m}^+(V, W)$ и $M_{y,m}^-(V, W)$ ($m \geq 2$) предикатов \Rightarrow_1 на предикаты Π_{m-1}^σ , где $\sigma \in \{+, -\}$, то получим процедурные выражения $[M_{x,m}^+(V, W)]$ и $[M_{y,m}^-(V, W)]$.

Эти процедурные выражения являются объектами PrSem^a и представляют схемы реализаций предикатов M^σ , которые превращаются в вычислительные процедуры посредством применения алгоритмов установления сходств (\pm) - фактов и (\pm) - примеров [53a].

В $M_{a,m}^+(V, W)$ предикат $X \Rightarrow_1 Y$ имеет вхождения в двух основных подформулах, выражающих экзистенциальные условия ($\exists Y$) и эмпирическую зависимость ($\exists Z$).

Напомним подформулы ($\exists Y$) и ($\exists Z$) для позитивного предиката простого сходства $M_{a,m}^+(V, W)$:

$$(\exists Y) (J_{\langle 1, 2m-2 \rangle} (Z_1 \Rightarrow_1 U_1) \& \dots \& (J_{\langle 1, 2m-2 \rangle} (Z_k \Rightarrow_1 U_k)),$$

$$(\exists Z) \forall X \forall Y ((J_{\langle 1, 2m-2 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y) \& (V \subset X)) \rightarrow ((W \subseteq Y) \& \neg (W = \emptyset) \& (\bigvee_{i=1}^k (X = Z_i))))$$

($\exists Y$) в $[M_{x,m}^+(V, W)]$ представима посредством формулы

$$(\bigotimes_{h=1}^k (J_{\langle 1, 0 \rangle} (Z_h \Rightarrow_1 U_h) \& (\bigvee_{j=2}^{2m-2} (J_{\langle \tau, 2j-1 \rangle} (Z_h \Rightarrow_1 U_h) \& \Pi_j^+(Z_h, U_h))))).$$

($\exists Z$) в $[M_{x,m}^+(V, W)]$ представима посредством формулы

$$\forall X \forall Y (((J_{\langle 1, 0 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y) \& (\bigvee_{j=2}^{2m-2} (J_{\langle \tau, 2j-1 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y) \& \Pi_j^+(X, Y))) \& (V \subset X)) \rightarrow ((W \subseteq Y) \& \neg (W = \emptyset) \& (\bigvee_{i=1}^k (X = Z_i))))).$$

Дополнительные условия («добавки») для $M_{a,m}^+(V, W)$ также представимы в PrSem. Рассмотрим условие запрета на контрпримеры (b)⁺:

$$\forall X \forall Y (((V \subset X) \& (W \subseteq Y)) \rightarrow (J_{\langle 1, 2m-2 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y) \vee J_{\langle \tau, 2m-2 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y))).$$

Его процедурным представлением является формула

$$\forall X \forall Y (((V \subset X) \& (W \subseteq Y)) \rightarrow (\bigvee_{j=2}^{2m} (J_{\langle \tau, 2j-1 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y) \& (\Pi_j^+(X, Y) \vee \Pi_j^\tau(X, Y))))).$$

Используя процедурные представления для ($\exists Y$), ($\exists Z$) и условия (b)⁺, получим процедурное выражение $[M_{ab,m}^+(V, W)]$ для положительного предиката сходства с запретом на контрпримеры $M_{ab,m}^+(V, W)$.

Аналогичные представления можно получить для $M_{ab,m}^-(V, W)$.

Рекурсивная процедура ДСМ-рассуждения на Этапе I для позитивных п.п.в. имеет следующую конструктивную интерпретацию в PrSem.

$$\text{Такт 1. } \frac{M_{x,1}^+(V, W) \& \neg M_{y,1}^-(V, W)}{J_{\langle 1,1 \rangle} (V \Rightarrow_2 W)} \frac{[\Pi_1^+(X, Y)]}{J_{\langle 1,2 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y)}$$

$$\text{Такт 2. } \frac{[M_{x,2}^+(V, W)] \& \neg [M_{y,2}^-(V, W)]}{J_{\langle 1,3 \rangle} (V \Rightarrow_2 W)} \frac{[\Pi_2^+(X, Y)]}{J_{\langle 1,4 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y)}$$

.....

$$\text{Такт } n. \frac{[M_{x,n}^+(V, W)] \& \neg [M_{y,n}^-(V, W)]}{J_{\langle 1,2n-1 \rangle} (V \Rightarrow_2 W)} \frac{[\Pi_n^+(X, Y)]}{J_{\langle 1,2n \rangle} (X \Rightarrow_1 Y)}$$

где n – такт стабилизации ДСМ-рассуждения.

Аналогично формулируется конструктивная интерпретация для п.п.в.-1 и п.п.в.-2 (I)^σ и (Π)^σ, соответственно, где $\sigma \in \{-, 0, \tau\}$.

Получим также конструктивную интерпретацию АКП_{*}⁽⁺⁾, обозначаемую посредством $[АКП_*^{(+)}]$:

$$\forall X \forall Y (J_{\langle 1,0 \rangle} (X \Rightarrow_1 Y) \rightarrow \exists n \exists V (J_{\langle \tau, 2n-2 \rangle} (V \Rightarrow_2 Y) \& M_n^+(V, W) \& \neg M_n^-(V, W) \& (V \subset X) \& \neg (V = \emptyset))).$$

Аналогично получим $[AKP_*^{(-)}]$. Конструктивная интерпретация $AKP_*^{(\sigma)}$ соответствует Этапу II ДСМ-рассуждения. Схемы абдуктивного принятия гипотез (a) и (b) получают конструктивную интерпретацию посредством $[AKP_*^{(\sigma)}]$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Замечание 2-3. Отношение $R_{2i-1}^+ = \{(V, W) | J_{(1,2i-1)}(V \Rightarrow_2 W)\}$ – «гипотеза (+)-причины» – может иметь конструктивное представление в PrSem посредством M^σ -предикатов. Аналогичные представления имеют отношения P_{2i}^σ и \bar{P}_{2n}^σ , где n – номер такта стабилизации ДСМ-рассуждения, которые были рассмотрены в §2.

Важной особенностью ДСМ-метода АПГ является конструктивное порождение истинностных значений $\bar{V} = \langle v, l \rangle$ и множеств истинностных значений (τ, l) .

Рассмотрим функции оценки для высказываний $(C' \Rightarrow_2 Q)$ и $(C \Rightarrow_1 Q)$, где C', C и Q – константы. Генераторы \bar{V} и (τ, l) определяются в PrSem следующим образом для такта m и стратегии $Str_{x,y}$ ДСМ-рассуждения.

1°. $v[(C' \Rightarrow_2 Q)] = \langle 1, 2m-1 \rangle$, если выполняется $[M_{x,m}^+(C', Q)] \& \neg[M_{y,m}^-(C', Q)]$;

2°. $v[(C' \Rightarrow_2 Q)] = \langle -1, 2m-1 \rangle$, если выполняется $\neg[M_{x,m}^+(C', Q)] \& [M_{y,m}^-(C', Q)]$;

3°. $v[(C' \Rightarrow_2 Q)] = \langle 0, 2m-1 \rangle$, если выполняется $[M_{x,m}^+(C', Q)] \& [M_{y,m}^-(C', Q)]$;

4°. $v[(C' \Rightarrow_2 Q)] = (\tau, 2m-1)$, если выполняется $\neg[M_{x,m}^+(C', Q)] \& \neg[M_{y,m}^-(C', Q)]$;

5°. $v[(C \Rightarrow_1 Q)] = \langle 1, 2m \rangle$, если выполняется $[\Pi_m^+(C, Q)]$;

6°. $v[(C \Rightarrow_1 Q)] = \langle -1, 2m \rangle$, если выполняется $[\Pi_m^-(C, Q)]$;

7°. $v[(C \Rightarrow_1 Q)] = \langle 0, 2m \rangle$, если выполняется $[\Pi_m^0(C, Q)]$;

8°. $v[(C \Rightarrow_1 Q)] = (\tau, 2m)$, если выполняется $[\Pi_m^r(C, Q)]$.

В §2 отмечалось, что истинностные значения $\bar{V} = \langle v, l \rangle$, где $l > 0$, и $\bar{V} = \langle v, 0 \rangle$ имеют различный эпистемологический статус. $\langle v, 0 \rangle$ – истинностное значение, присваиваемое высказыванию согласно аристотелевской теории истины – теории соответствия, а $\langle v, l \rangle$, где $l > 0$, – истинностное значение, присваиваемое высказыванию согласно когерентной теории истины [1]. В первом случае имеются высказывания, представленные в базе фактов БФ, во втором – высказывания, являющиеся гипотезами, представленные в базе примеров. Истинностные значения гипотез, порождённые генераторами процедурной семантики PrSem, естественно называть **когерентными истинностными значениями**, а истинностные значения высказываний $\bar{V} = \langle v, 0 \rangle$ из БФ естественно называть **корреспондентскими истинностными значениями**. В силу этого в §2 истинност-

ные значения $\langle 1, 0 \rangle$ и $\langle -1, 0 \rangle$ получили новые обозначения t и f , соответственно. Аналогичное обозначение $\frac{1}{2}$ следует ввести и для множества истинностных значений $(\tau, 0)$, представляющего **неопределённость**.

Истинностные значения t и f являются **внешними** истинностными значениями в смысле Д.А. Бочвара [36], а $\bar{V} = \langle v, l \rangle$, где $l > 0$, являются **внутренними** истинностными значениями [36]. Однако и $\frac{1}{2}$ является **внешним** истинностным значением, характерным для ДСМ-рассуждений.

t и f используются в определении J -операторов [33]:

$$\bar{v} [J_{\langle v, l \rangle} \varphi] = \begin{cases} t, & \text{если } v[\varphi] = \langle v, l \rangle, \\ f, & \text{если } v[\varphi] \neq \langle v, l \rangle, \end{cases}$$

где $v \in \{1, -1, 0\}$, φ есть $(C' \Rightarrow_2 Q)$ или $(C \Rightarrow_1 Q)$, $l > 0$, а \bar{v} – функция оценки формул с J -операторами. При $l = 0$:

$$\bar{v} [J_{\langle v, 0 \rangle} \varphi] = \begin{cases} t, & \text{если } v[\varphi] = \langle v, 0 \rangle, \\ f, & \text{если } v[\varphi] \neq \langle v, 0 \rangle, \end{cases}$$

где $v \in \{1, -1, 0\}$;

$$\bar{v} [J_{\langle \tau, 0 \rangle} \varphi] = \begin{cases} t, & \text{если } v[\varphi] = (\tau, 0), \\ f, & \text{если } v[\varphi] \neq (\tau, 0), \end{cases}$$

Истинностное значение $\frac{1}{2}$ естественно истолковать как возможность иметь выбор из истинностных значений t , f или \bar{v} , где $v \in \{1, -1, 0, \tau\}$. То есть $\bar{v} = \langle v, n \rangle$ соответствует последующему порождению гипотезы с типом истинностного значения v . Поэтому $\frac{1}{2}$ представляет неопределённость, а тогда возникает для множества истинностных значений $\{t, \frac{1}{2}, f\}$ фрагмент трехзначной логики Я. Лукасевича (J. Lukasiewicz) L_3 [52], рассмотренный С.К. Клини (S.C. Kleene) в [53].

Этот фрагмент логики L_3 , обозначаемый посредством K_3 , имеет исходные логические связи $\sim, \&, \vee$, определяемые истинностными таблицами

p	$\sim p$	$\&$	t	$\frac{1}{2}$	f	\vee	t	$\frac{1}{2}$	f
t	f	t	t	$\frac{1}{2}$	f	t	t	t	t
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	f	$\frac{1}{2}$	t	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
f	t	f	f	f	f	f	t	$\frac{1}{2}$	f

которым соответствует следующий порядок на $\{t, \frac{1}{2}, f\}$:

$$f < \frac{1}{2} < t.$$

Следовательно, $p \vee q = \max(p, q)$, $p \& q = \min(p, q)$.

В [21] (Часть IV, §9. Логика аргументации $A_{4,i}^{(4)}$ и их ДСМ-расширения, с. 319 – 328) были сформулированы четырёхзначные логики аргументации, ассоциированные с ДСМ-рассуждениями (точнее, с их типами истинностных значений $-1, -1, 0, \tau$).

$A_{4,1}^{(4)}$ имеет выделенное истинностное значение 1, а $A_{4,2}^{(4)}$ имеет выделенные истинностные значения 1 и -1 . $A_{4,i}^{(4)}$ имеет следующие истинностные таблицы:

p	$\sim p$	$\&_2^{(4)}$	1	-1	0	τ
1	-1	1	1	0	0	τ
-1	1	-1	0	-1	0	τ
0	0	0	0	0	0	0
τ	τ	τ	τ	τ	0	τ

$\vee_2^{(4)}$	1	-1	0	τ
1	1	τ	1	1
-1	τ	-1	-1	-1
0	1	-1	0	τ
τ	1	-1	τ	τ

\supset	1	-1	0	τ
1	1	-1	0	τ
-1	1	1	1	1
0	1	-1	1	τ
τ	1	-1	0	1

Логические связки логики $A_{4,i}^{(4)}$, $\&_2^{(4)}$ и $\vee_2^{(4)}$ [21] являются неассоциативными, а потому их сигнатура состоит из логических связок $\sim, \supset, \{\&_n^{(4)}\}_{n \in \mathbb{N}}$ и $\{\vee_n^{(4)}\}_{n \in \mathbb{N}}$.

Так как

$$(1 \vee_2^{(4)} -1) \vee_2^{(4)} -1 = \tau \vee_2^{(4)} -1 = -1, \text{ а}$$

$$1 \vee_2^{(4)} (-1 \vee_2^{(4)} -1) = 1 \vee_2^{(4)} -1 = \tau,$$

следует ввести счётное множество $\vee_n^{(4)}(p_1, \dots, p_n)$ дизъюнкций (аналогично вводятся и конъюнкции $\&_n^{(4)}$).

Для ДСМ-рассуждений истинностное значение $\frac{1}{2}$ естественно истолковать как возможность последующего пересмотра, результатом которого могут быть истинностные значения \bar{v} , где $v \in \{1, -1, 0, \tau\}$. Кроме того, $\frac{1}{2}$ может означать выбор из истинностных значений t и f , исход которого **неизвестен**. Следовательно, $\frac{1}{2}$ соответствуют три возможных видов истинностных значения $-t, f$ и \bar{v} , где v – тип истинностного значения³⁹.

Пусть v, μ, χ – типы истинностных значений ($v, \mu, \chi \in \{1, -1, 0, \tau\}$). Тогда естественно ввести следующие соотношения:

$$\frac{1}{2} \begin{cases} t \& \mu = \mu \\ v \& \mu = \chi \\ f \& \mu = f \end{cases}$$

$$\frac{1}{2} \begin{cases} t \vee \mu = t \\ v \vee \mu = \chi \\ f \vee \mu = \mu \end{cases}$$

Ради простоты записи опустим индексы у $\vee_2^{(4)}$ и $\&_2^{(4)}$. В силу этих соотношений естественно использовать $\frac{1}{2}$ как неопределённость и ввести также равенства

$$\frac{1}{2} \& v = \frac{1}{2} \text{ и } \frac{1}{2} \vee v = \frac{1}{2}.$$

Объединяя когерентные истинностные значения, выразимые в логиках $A_{4,i}^{(4)}$, и корреспондентские истинностные значения t, f и $\frac{1}{2}$, получим расширение

³⁹ Заметим, что t, f и \bar{v} , соответствующие $\frac{1}{2}$, имеют различный эпистемологический статус: t, f – корреспондентские истинностные значения, а \bar{v} – когерентные.

$A_{4,i}^{(4)}$ – семизначную $A_i^{(7)}$ ($i = 1, 2, 3$) с истинностными таблицами для \sim , $\&_2^{(7)}$ и $\vee_2^{(7)}$, определения которых могут быть обобщены для $\&_n^{(7)}$ и $\vee_n^{(7)}$:

p	~p						
1	-1						
-1	1						
0	0						
τ	τ						
t	f						
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$						
f	t						
$\&_2^{(7)}$	1	-1	0	τ	t	$\frac{1}{2}$	f
1	1	0	0	τ	1	$\frac{1}{2}$	f
-1	0	-1	0	τ	-1	$\frac{1}{2}$	f
0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	f
τ	τ	τ	0	τ	τ	$\frac{1}{2}$	f
t	1	-1	0	τ	t	$\frac{1}{2}$	f
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	f
f	f	f	f	f	f	f	f
$\vee_2^{(7)}$	1	-1	0	τ	t	$\frac{1}{2}$	f
1	1	τ	1	1	t	$\frac{1}{2}$	1
-1	τ	-1	-1	-1	t	$\frac{1}{2}$	-1
0	1	-1	0	τ	t	$\frac{1}{2}$	0
τ	1	-1	τ	τ	t	$\frac{1}{2}$	τ
t	t	t	t	t	t	t	t
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	t	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
f	1	-1	0	τ	t	$\frac{1}{2}$	f

Приведённые истинностные таблицы представляют семизначную логику такую, что она объединяет как корреспондентские, так и когерентные истинностные значения, выражающие оценки гипотез, порождённых ДСМ-рассуждениями. Заметим, что когерентные истинностные значения порождаются средствами PrSem.

Логики $A_{4,i}^{(7)}$ являются иллюстрацией мысли Д.А. Бочвара о том, что многозначные логики могут быть фрагментами формализованной семантики.

Логической матрицей $A_3^{(7)}$ является

$$M = \langle \{1, -1, 0, \tau\} \cup \{t, \frac{1}{2}, f\}, \{1, -1, t\}, \sim, \supset, \{\&_n\}_{n \in \mathbb{N}}, \{\vee_n\}_{n \in \mathbb{N}} \rangle,$$

где $D = \{1, -1, t\}$ – множество выделенных истинностных значений. $A_3^{(7)}$ является логикой **типов истинностных значений** ДСМ-рассуждений, имеющей истинностную интерпретацию посредством PrSem.

Логикой ДСМ-рассуждений $A_{\infty,3}^{(7)}$ является бесконечнозначная логика степеней правдоподобия порождаемых гипотез. $A_{\infty,3}^{(7)}$ есть расширение логики типов истинностных значений $A_3^{(7)}$. $A_{\infty,3}^{(7)}$ имеет конечное число типов истинностных значений из $A_3^{(7)}$.⁴⁰

Истинностные значения для $\&_2^{(7)}$, $\vee_2^{(7)}$, \supset и \sim определяются следующим образом ([21], §8):

$$\begin{aligned} \langle v, n \rangle \supset \langle \mu, m \rangle &= \langle v \supset \mu, \max(m, n) \rangle, \\ \&_2^{(7)} (\langle v, n \rangle, \langle \mu, m \rangle) &= \langle \&_2^{(7)} (v, \mu), \max(n, m) \rangle, \\ \vee_2^{(7)} (\langle v, n \rangle, \langle \mu, m \rangle) &= \langle \vee_2^{(7)} (v, \mu), \min(n, m) \rangle, \\ \sim \langle v, n \rangle &= \langle \sim v, n \rangle. \end{aligned}$$

В силу неассоциативности $\&_2^{(7)}$ и $\vee_2^{(7)}$ определяются логические связки $\&_n^{(7)}$ и $\vee_n^{(7)}$ для $n > 2$. Заметим, что чем меньше число шагов n , тем больше степень правдоподобия гипотез, что отражается в использовании $\max(n, m)$ и $\min(n, m)$.

Третьей компонентой ДСМ-метода АПГ являются квазиаксиоматические теории (КАТ), которые являются средствами представления знаний в ИС-ДСМ. КАТ являются **открытыми** теориями с пополняемыми множествами фактов и расширяемыми множествами гипотез, порождаемых посредством ДСМ-рассуждений.

⁴⁰ Бесконечнозначная логика, ассоциированная с ДСМ-рассуждениями, рассмотрена в [54].

КАТ $\mathfrak{S} = \langle \Sigma, \Sigma', \mathfrak{R} \rangle$ состоит из множества аксиом Σ , лишь частично характеризующих предметную область, множества фактов и гипотез Σ' и множества достоверных и правдоподобных правил вывода \mathfrak{R} . Σ' является открытым множеством, но и Σ также расширяется посредством обнаруженных эмпирических закономерностей (ЭЗК) в последовательности расширяемых баз фактов (БФ) [32].

Множество Σ состоит из аксиом структуры данных (алгебраическая часть КАТ) \mathfrak{S}_a , специфических аксиом предметной области, процедурных аксиом, представляющих в декларативном виде п.п.в.-1 и п.п.в.-2, и аксиом каузальной полноты (АКП $^{(\sigma)}$ или АКП $^{(\sigma)}$). Σ может содержать также представления порождённых эмпирических закономерностей (ЭЗК) [32].

В настоящей статье структура данных представлена двумя булевыми алгебрами

$$\mathfrak{B}_1 = \langle 2^{U^{(1)}}, \emptyset, U^{(1)}, -, \cap, \cup \rangle \text{ и } \mathfrak{B}_2 = \langle 2^{U^{(2)}}, \emptyset, U^{(2)}, -, \cap, \cup \rangle,$$

аксиомы которых содержатся в Σ .

Процедурные же аксиомы, соответствующие выбранной стратегии $\text{Str}_{x,y}$, представляют п.п.в.-1 (индукцию) и п.п.в.-2 (аналогию). К этим аксиомам добавляются две аксиомы окончания ДСМ-рассуждения [9] (Глава 5. О дедуктивной имитации некоторых вариантов ДСМ-метода автоматического порождения гипотез, с. 240 - 286). Процедурные аксиомы, аксиомы окончания ДСМ-рассуждения, аксиомы структуры данных и правила вывода логики предикатов образуют фрагмент КАТ, непротиворечивость которого установлена в [9].

Процедурные аксиомы (они формулируются относительно фиксированной стратегии $\text{Str}_{x,y}$) и аксиомы окончания ДСМ-рассуждения перечислим ниже:

$$A_1^+ \quad \forall V \forall W ((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 W) \& \\ \& M_{x,n}^+(V, W) \& \neg M_{y,n}^-(V, W)) \rightarrow J_{\langle 1, 2n-1 \rangle}(V \Rightarrow_2 W))$$

$$A_1^- \quad \forall V \forall W ((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 W) \& \\ \& \neg M_{x,n}^+(V, W) \& M_{y,n}^-(V, W)) \rightarrow J_{\langle -1, 2n-1 \rangle}(V \Rightarrow_2 W))$$

$$A_1^0 \quad \forall V \forall W ((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 W) \& M_{x,n}^+(V, W) \& \\ \& M_{y,n}^-(V, W)) \rightarrow J_{\langle 0, 2n-1 \rangle}(V \Rightarrow_2 W))$$

$$A_1^\tau \quad \forall V \forall W ((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 W) \& \neg M_{x,n}^+(V, W) \& \\ \& \neg M_{y,n}^-(V, W)) \rightarrow J_{\langle \tau, 2n-1 \rangle}(V \Rightarrow_2 W))$$

$$A_2^+ \quad \forall X \forall Y ((J_{(\tau, 2n-1)}(X \Rightarrow_1 Y) \& \Pi_n^+(X, Y)) \rightarrow \\ \rightarrow J_{\langle 1, 2n \rangle}(X \Rightarrow_1 Y))$$

$$A_2^- \quad \forall X \forall Y ((J_{(\tau, 2n-1)}(X \Rightarrow_1 Y) \& \Pi_n^-(X, Y)) \rightarrow \\ \rightarrow J_{\langle -1, 2n \rangle}(X \Rightarrow_1 Y))$$

$$A_2^0 \quad \forall X \forall Y ((J_{(\tau, 2n-1)}(X \Rightarrow_1 Y) \& \Pi_n^0(X, Y)) \rightarrow \\ \rightarrow J_{\langle 0, 2n \rangle}(X \Rightarrow_1 Y))$$

$$A_2^\tau \quad \forall X \forall Y ((J_{(\tau, 2n-1)}(X \Rightarrow_1 Y) \& \Pi_n^\tau(X, Y)) \rightarrow \\ \rightarrow J_{\langle \tau, 2n \rangle}(X \Rightarrow_1 Y))$$

$$A_1 \quad \forall X \forall Y \exists n (J_{(\tau, 2n-3)}(X \Rightarrow_2 Y) \rightarrow J_{(\tau, 2n-1)}(X \Rightarrow_2 Y))$$

$$A_2 \quad \forall X \forall Y \exists n (J_{(\tau, 2n-2)}(X \Rightarrow_1 Y) \rightarrow J_{(\tau, 2n)}(X \Rightarrow_1 Y)),$$

где n – такт стабилизации ДСМ-рассуждения.

Аксиомы A_1 и A_2 являются аксиомами окончания ДСМ-рассуждения, соответствующие такту n его стабилизации.

Аксиомы A_1^σ и A_2^σ , где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$, A_1 и A_2 и правила вывода двужначной логики являются средством дедуктивной имитации ДСМ-рассуждений [9]. Они образуют фрагмент КАТ, являющийся дедуктивной теорией, процедурной частью которой \mathfrak{S}_{pr} являются A_1^σ , A_2^σ , A_1 , A_2 , а алгебраическая часть \mathfrak{S}_a в настоящей статье представлена булевыми алгебрами \mathfrak{B}_1 и \mathfrak{B}_2 [9].

\mathfrak{S}_a и \mathfrak{S}_{pr} являются непротиворечивым фрагментом КАТ $\mathfrak{S} = \langle \Sigma, \Sigma', \mathfrak{R} \rangle$. Однако добавление аксиом каузальной полноты (АКП $^{(\sigma)}$ или АКП $^{(\sigma)}$), принадлежащих Σ , может породить противоречивую теорию. В частности, противоречия могут возникнуть при включении в КАТ АКП $^{(\sigma)}$:

$$\forall X \forall Y (J_{\langle 1, 0 \rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \rightarrow \exists n \exists V (J_{\langle 1, 2n-2 \rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \& \\ \& (V \subset X) \& \neg (V = \emptyset))), \\ \forall X \forall Y (J_{\langle -1, 0 \rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \rightarrow \exists n \exists V (J_{\langle -1, 2n-2 \rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \& \\ \& (V \subset X) \& \neg (V = \emptyset))).$$

Если же КАТ с $\mathfrak{S}' = \mathfrak{S}_{pr} \cup \mathfrak{S}_a \cup \{\text{АКП}_*^{(+)}, \text{АКП}_*^{(-)}\}$ является непротиворечивой теорией, то имеет место дедуктивная имитация абдуктивного принятия гипотез (а), рассмотренная в §2. В случае же принятия гипотез (b), когда аксиомы каузальной полноты (АКП $^{(\sigma)}$ или АКП $^{(\sigma)}$) не являются истинными в БФ, то рассматриваются расширения БФ и распознаётся абдуктивная сходимость к установленным порогам ρ^σ .

Таким образом, КАТ и PrSem^a вместе с дедуктивной имитацией ДСМ-рассуждений являются, соответственно, третьей и четвёртой компонентой ДСМ-метода АПГ, который является теоретическим и практическим аппаратом для knowledge discovery в ИС-ДСМ.

Пятой компонентой ДСМ-метода АПГ являются средства распознавания эмпирических закономерностей

стей (ЭЗК) в расширяющихся последовательностях баз фактов (БФ) [32].

Рассмотрим последовательности вложенных БФ $БФ_0 \subset БФ_1 \subset \dots \subset БФ_s$. Каждой из этих БФ с номерами p и q соответствуют Этапы I ДСМ-рассуждения, обозначаемые посредством Этап I_p и Этап I_q , где $p \neq q$.

Обозначим посредством $\Delta^\sigma(p)$ и $\Delta^\sigma(q)$ множества гипотез ($\sigma \in \{+, -, 0\}$), представляющие предикат \Rightarrow_2 и порождённые на Этапах p и q .

$\Delta^\sigma(p)$ и $\Delta^\sigma(q)$ являются функциями, зависящими от p и q , соответственно. Множество номеров Этапов I_p $N_s = \{1, \dots, s\}$ есть область определения функций $\Delta^\sigma(p)$, областью их значений является множество всех гипотез, представляющих предикат \Rightarrow_2 и порождённые на Этапе I_p для БФ $_p$.

Определим выражения

$\Delta^+(p) \cap (\Delta^-(q) \cup \Delta^0(q))$, $\Delta^-(p) \cap (\Delta^+(q) \cup \Delta^0(q))$ и $\Delta^0(p) \cap (\Delta^+(q) \cup \Delta^-(q))$ следующим образом.

Операцию \cup определим стандартно. Если $J_{(1,m)}(C \Rightarrow_2 Q) \in \Delta^+(p)$ и $J_{(v,l)}(C \Rightarrow_2 Q) \in (\Delta^-(q) \cup \Delta^0(q))$, то $C \Rightarrow_2 Q \in \Delta^+(p) \cap (\Delta^-(q) \cup \Delta^0(q))$. $J_{(v,l)}(C \Rightarrow_2 Q)$ и $J_{(1,m)}(C \Rightarrow_2 Q)$ являются контрарными парами для $v \neq 1$, а $C \Rightarrow_2 Q$ – «тело» этих гипотез. Аналогично определим \cap для $\Delta^-(p) \cap (\Delta^+(q) \cup \Delta^0(q))$ и $\Delta^0(p) \cap (\Delta^+(q) \cup \Delta^-(q))$ [28, 32].

Посредством $|\Delta^{\sigma_1}(p) \cap (\Delta^{\sigma_2}(q) \cup \Delta^{\sigma_3}(q))|$ и $|\Delta^{\sigma_i}(p)|$, $|\Delta^{\sigma_j}(q)|$ обозначим числа элементов соответствующих множеств, где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \in \{+, -, 0\}$, $i, j = 1, 2, 3$, а $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ различны.

Определим теперь функционалы $f^\sigma(p, q)$, соответствующие п.п.в.-1 и характеризующие степень противоречивости множеств гипотез о причинах, выражимых посредством предиката $V \Rightarrow_2 W$, для Этапа I_p и Этапа I_q [32]:

$$f^+(p, q) = \frac{|\Delta^+(p) \cap (\Delta^-(q) \cup \Delta^0(q))|}{|\Delta^+(p)|},$$

$$f^-(p, q) = \frac{|\Delta^-(p) \cap (\Delta^+(q) \cup \Delta^0(q))|}{|\Delta^-(p)|},$$

$$f^0(p, q) = \frac{|\Delta^0(p) \cap (\Delta^+(q) \cup \Delta^-(q))|}{|\Delta^0(p)|}.$$

Очевидно, что если значения этих функционалов $x = f^\sigma(p, q)$, где $\sigma \in \{+, -, 0\}$, то $0 \leq x \leq 1$. $f^\sigma(p, q) = 0$ выражает непротиворечивость множеств $\Delta^\sigma(p)$ и $\Delta^{\sigma_1}(q) \cup \Delta^{\sigma_2}(q)$, где $\sigma \neq \sigma_i$, $a i = 1, 2$.

Определим предикаты $R^\sigma(p, q)$ и $\bar{R}(p, q)$, где $\sigma \in \{+, -, 0\}$, следующим образом:

$$R^\sigma(p, q) \Leftrightarrow f^\sigma(p, q) = 0,$$

$$\bar{R}(p, q) \Leftrightarrow R^+(p, q) \& R^-(p, q) \& R^0(p, q).$$

Имеют место утверждения:

Утверждение 1-3. Предикаты $R^\sigma(p, q)$ являются **рефлексивными**, т.е. истинно $\forall p R^\sigma(p, p)$, где $\sigma \in \{+, -, 0\}$ [28].

Утверждение 2-3. Предикат $\bar{R}(p, q)$ является **симметричным**, т.е. истинно, что $\forall p \forall q (\bar{R}(p, q) \supset \bar{R}(q, p))$ [28].

Определим также функционалы F^σ , соответствующие п.п.в.-2 и характеризующие степень противоречивости множеств гипотез, выражимых посредством предиката $X \Rightarrow_1 Y$, для Этапа I_p и Этапа I_q :

$$F^+(p, q) = \frac{|\Omega^+(p) \cap (\Omega^-(q) \cup \Omega^0(q))|}{|\Omega^+(p)|},$$

$$F^-(p, q) = \frac{|\Omega^-(p) \cap (\Omega^+(q) \cup \Omega^0(q))|}{|\Omega^-(p)|},$$

$$F^0(p, q) = \frac{|\Omega^0(p) \cap (\Omega^+(q) \cup \Omega^-(q))|}{|\Omega^0(p)|}.$$

Очевидно, что $0 \leq F^\sigma(p, q) \leq 1$.

Определим соответствующие функционалам $F^\sigma(p, q)$ предикаты $K^\sigma(p, q)$ и предикат $\bar{K}(p, q)$ следующим образом:

$$K^\sigma(p, q) \Leftrightarrow F^\sigma(p, q) = 0, \text{ где } \sigma \in \{+, -, 0\};$$

$$\bar{K}(p, q) \Leftrightarrow K^+(p, q) \& K^-(p, q) \& K^0(p, q).$$

Имеют место утверждения, аналогичные **Утверждениям 1-3 и 2-3**:

Утверждение 3-3. Предикаты $K^\sigma(p, q)$ являются **рефлексивными**, т.е. $\forall p K^\sigma(p, p)$ истинно, где $\sigma \in \{+, -, 0\}$ [28].

Утверждение 4-3. Предикат $\bar{K}(p, q)$ является **симметричным**.

Множество A с заданным на нём бинарным отношением T таким, что оно является рефлексивным и симметричным, называют **пространством толерантности** [55, 56].

Так как $\bar{R}(p, q)$ и $\bar{K}(p, q)$ соответствуют бинарные отношения \tilde{R} и \tilde{K} такие, что они образуют пространство толерантности $\mathbf{R} = \langle A, \tilde{R} \rangle$ и $\mathbf{K} = \langle A, \tilde{K} \rangle$, где A – множество номеров Этапов I_p , а p соответствуют множества $\Delta^\sigma(p)$ и $\Omega^\sigma(p)$, $\sigma \in \{+, -, 0\}$.

Если для ДСМ-рассуждения, применимого к начальной БФ, соответствующий процесс на Этапе II порождает пространства толерантности \mathbf{R} и \mathbf{K} для БФ $_0 \subset БФ_1 \subset \dots \subset БФ_s$, то будем говорить, что ДСМ-рассуждение **тотально корректно** [28].

Наличие тотально корректного ДСМ-рассуждения относительно последовательности БФ $_0 \subset БФ_1 \subset \dots \subset БФ_s$ и стратегии $Str_{x,y}$ означает, что обнаружен **эмпирический закон**, являющийся разновидностью эмпирических закономерностей, определяемых ниже [32].

Сформулируем явные определения [57] предикатов $L^\sigma(Z, U, p, q)$ и $\tilde{L}^\sigma(V, W, p, q)$, характеризующих **семейства эмпирических закономерностей (ЭЗК) и основания ЭЗК этого семейства.**

Df. 1-3. $\forall Z \forall U \forall p \forall q (L^+(Z, U, p, q) \leftrightarrow \leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, n)}(Z \Rightarrow_1 U) \& \Pi_n^+(Z, U) \rightarrow J_{(1, 2n)}(Z \Rightarrow_1 U)) \& (0 \leq F^+(p, q) \leq 0, 2) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1)))$,

где $\Pi_n^+(Z, U)$ – предикат, представляющий аналогию в п.п.в.-2, а n – номер такта стабилизации ДСМ-рассуждения.

Df. 2-3. $\forall V \forall W \forall p \forall q (\tilde{L}^+(V, W, p, q) \leftrightarrow \leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 W) \& M_{x,n}^+(V, W) \& \neg M_{y,n}^-(V, W)) \rightarrow \rightarrow J_{(1, 2n-1)}(V \Rightarrow_2 W)) \& (0 \leq f^+(p, q) \leq 0, 2) \& \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1)))$,

где $M_{x,n}^+(V, W)$ и $M_{y,n}^-(V, W)$ – предикаты, представляющие индукцию в п.п.в.-1, соответствующие $Str_{x,y}$.

Аналогично определяются предикаты $L^\sigma(Z, U, p, q)$ и $\tilde{L}^\sigma(V, W, p, q)$, где $\sigma \in \{-, 0\}$. В этих предикатах имеются, соответственно, $\Pi_n^-(Z, U)$ и $\Pi_n^0(Z, U)$, $\neg M_{x,n}^+(V, W) \& M_{y,n}^-(V, W)$ и $M_{x,n}^+(V, W) \& M_{y,n}^-(V, W)$.

Важным видом эмпирических закономерностей являются эмпирические законы, семейство которых определяется ниже посредством предикатов $L_1^\sigma(Z, U, p, q)$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Df. 3-3. $\forall Z \forall p \forall q (L_1^+(Z, Q, p, q) \leftrightarrow \leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-1)}(Z \Rightarrow_1 Q) \& \Pi_n^+(Z, Q) \rightarrow J_{(1, 2n)}(Z \Rightarrow_1 Q)) \& \& \bar{K}(p, q) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1)))$,

где Q – константа, представляющая эффект в БФ.

Аналогично формулируется явное определение для $L_1^-(Z, Q, p, q)$.

Определим также **основания позитивных эмпирических законов** посредством предиката $L_2^+(V, W, p, q)$.

Df. 4-3. $\forall V \forall p \forall q (L_2^+(V, Q, p, q) \leftrightarrow \leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 Q) \& M_{x,n}^+(V, Q) \& \neg M_{y,n}^-(V, Q)) \rightarrow \rightarrow J_{(1, 2n-1)}(V \Rightarrow_2 Q)) \& \bar{R}(p, q) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1)))$.

Аналогично формулируется явное определение для $L_2^-(V, Q, p, q)$.

Позитивный эмпирический закон из семейства, определяемого посредством *Df. 3-3*, представим утверждением

$$(1-3) \exists Z \forall p \forall q L_1^+(Z, Q, p, q).$$

Основание эмпирического закона из семейства, определяемого посредством *Df. 4-3*, представим утверждением

$$(2-3) \exists V \forall p \forall q L_2^+(V, Q, p, q).$$

Реализациями позитивных эмпирических законов и их оснований будем называть, соответственно, утверждения

$$(3-3) \forall p \forall q L_1^+(C, Q, p, q),$$

$$(4-3) \forall p \forall q L_2^+(C', Q, p, q),$$

где C и C' – константы, представляющие носителя эффекта Q и его причину, соответственно.

Аналогично определяются негативные эмпирические законы и их основания, а также их реализации $\forall p \forall q L_1^-(C, Q, p, q)$ и $\forall p \forall q L_2^-(C', Q, p, q)$.

Очевидно, что для реализаций эмпирических законов и их оснований имеют место утверждения

$$(5-3) \forall p \forall q (L_1^+(C, Q, p, q) \leftrightarrow$$

$\leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-1)}(C \Rightarrow_1 Q) \& \Pi_n^+(C, Q)) \rightarrow J_{(1, 2n)}(C \Rightarrow_1 Q)) \& \& \bar{K}(p, q) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1)))$,

$$(6-3) \forall p \forall q (L_2^+(C', Q, p, q) \leftrightarrow$$

$\leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-2)}(C' \Rightarrow_2 Q) \& M_{x,n}^+(C', Q) \& \neg M_{y,n}^-(C', Q)) \rightarrow J_{(1, 2n-1)}(C' \Rightarrow_2 Q)) \& \& \bar{R}(p, q) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1)))$.

Заменив в определениях *Df. 3-3* и *Df. 4-3* подформулу $(\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1)$ на $\rho^+(s) = 1$ и $(\rho^+ \leq \rho^+(s) < 1)$, получим определения для сильного и слабого позитивного эмпирического закона, соответственно. Обозначим посредством $L_{1s}^+(Z, U, p, q)$ и $L_{1w}^+(Z, U, p, q)$ предикаты, выражающие сильный и слабый эмпирические законы, соответственно. Аналогично введём обозначения для предикатов, выражающих сильные и слабые основания позитивных эмпирических законов – $L_{2s}^+(V, W, p, q)$ и $L_{2w}^+(Z, U, p, q)$.

Таким образом, утверждения

$$(7-3) \exists Z \forall p \forall q L_{1s}^+(Z, Q, p, q),$$

$$(8-3) \exists Z \forall p \forall q L_{1w}^+(Z, Q, p, q)$$

выражают сильный и слабый эмпирический закон, соответственно.

Аналогично определяются сильные и слабые негативные эмпирические законы и их основания, посредством предикатов $L_{1s}^-(Z, U, p, q)$, $L_{1w}^-(Z, U, p, q)$ и $L_{2s}^-(V, W, p, q)$, $L_{2w}^-(V, W, p, q)$.

Заменим теперь в определении *Df. 1-3* подформулу $(0 \leq F^+(p, q) \leq 0, 2)$ на $(0 < F^+(p, q) \leq 0, 2)$, а в определении *Df. 2-3* подформулу $(0 \leq f^+(p, q) \leq 0, 2)$ заменим на $(0 < f^+(p, q) \leq 0, 2)$.

В результате этих замен получим явные определения предикатов $L_3^+(Z, U, p, q)$ и $L_4^+(V, W, p, q)$, характеризующих семейство эмпирических закономерностей и их оснований таких, что степени противоречивости множеств гипотез, порождаемых посредством п.п.в.-2 и п.п.в.-1 для последовательностей вложенных баз фактов, не равна 0, но достаточно мала. Тогда будем говорить, что предикаты $L_3^+(Z, U, p, q)$ и $L_4^+(V, W, p, q)$ характеризуют **позитивные эм-**

пирические тенденции и их основания, соответственно.

$$Df. 5-3. \quad \forall Z \forall U \forall p \forall q (L_3^+(Z, U, p, q) \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-1)}(Z \Rightarrow_1 U) \& \Pi_n^+(Z, U)) \rightarrow J_{(1, 2n)}(Z \Rightarrow_1 U)) \&$$

$$\& (0 < F^+(p, q) \leq 0,2) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1))).$$

$$Df. 6-3. \quad \forall V \forall W \forall p \forall q (L_4^+(V, W, p, q) \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 W) \& M_{x,n}^+(V, W) \&$$

$$\& \neg M_{y,n}^-(V, W)) \rightarrow J_{(1, 2n-1)}(V \Rightarrow_2 W)) \&$$

$$\& (0 < f^+(p, q) \leq 0,2) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1))).$$

Аналогично формулируется условия, характеризующие негативные эмпирические тенденции и их основания посредством предикатов $L_3^-(Z, U, p, q)$ и $L_4^-(V, W, p, q)$, соответственно.

Сформулируем явные определения семейств позитивных тенденций и их оснований:

$$Df. 7-3. \quad \forall Z \forall p \forall q (L_3^+(Z, Q, p, q) \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-1)}(Z \Rightarrow_1 Q) \& \Pi_n^+(Z, Q)) \rightarrow J_{(1, 2n)}(Z \Rightarrow_1 Q)) \&$$

$$\& (0 < F^+(p, q) \leq 0,2) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1))),$$

$$Df. 8-3. \quad \forall V \forall p \forall q (L_4^+(V, Q, p, q) \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow \exists n \exists s ((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 Q) \& M_{x,n}^+(V, Q) \& \neg M_{y,n}^-(V, Q)) \rightarrow J_{(1, 2n-1)}(V \Rightarrow_2 Q)) \& (0 < f^+(p, q) \leq 0,2) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1))),$$

где Q – эффект, имеющий соответствующие основания ((+) - причины).

Аналогично формулируются явные определения семейств отрицательных тенденций и их оснований.

Эмпирические тенденции (ЭТ) и их основания из соответствующего семейства представим утверждениями

$$(9-3) \quad \exists Z \forall p \forall q L_3^\sigma(Z, Q, p, q),$$

$$(10-3) \quad \exists V \forall p \forall q L_4^\sigma(V, Q, p, q), \text{ где } \sigma \in \{+, -\}.$$

Соответственно, определим сильные и слабые эмпирические тенденции и их основания посредством утверждений

$$(11-3) \quad \exists Z \forall p \forall q L_{3s}^\sigma(Z, Q, p, q),$$

$$(12-3) \quad \exists Z \forall p \forall q L_{3w}^\sigma(Z, Q, p, q),$$

$$(13-3) \quad \exists V \forall p \forall q L_{4s}^\sigma(V, Q, p, q),$$

$$(14-3) \quad \exists V \forall p \forall q L_{4w}^\sigma(V, Q, p, q), \text{ где } \sigma \in \{+, -\}.$$

Сильные и слабые реализации тенденций и их оснований представляются утверждениями: $\forall p \forall q L_{3s}^\sigma(C, Q, p, q)$, $\forall p \forall q L_{3w}^\sigma(C, Q, p, q)$, $\forall p \forall q L_{4s}^\sigma(C', Q, p, q)$, $\forall p \forall q L_{4w}^\sigma(C', Q, p, q)$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Заметим, что предикаты $L_{is}^\sigma(Z, U, p, q)$, $L_{iw}^\sigma(Z, U, p, q)$ и $L_{is}^\sigma(V, W, p, q)$, $L_{iw}^\sigma(V, W, p, q)$, где $\sigma \in \{+, -\}$, $i = 1, 2, 3, 4$, имеют интерпретацию в PrSem посредством процедурных выражений $[M_{x,n}^+]$, $[M_{y,n}^-]$ и $[\Pi_n^\sigma]$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Так как введённые предикаты, представляющие эмпирические закономерности, содержат функционалы F^σ, f^σ , функции ρ^σ и предикаты $\bar{K}(p, q)$, $\bar{R}(p, q)$, то ЭЗК (эмпирические законы и тенденции) имеют **операциональные определения**, характерные для средств исследования физической реальности [58, 59].

Для эмпирических тенденций (ЭТ) и их оснований могут иметь место следующие условия антитонности для функционалов F^σ и f^σ :

$$(15-3) \quad \forall m \forall p \forall q ((m < p) \& (p < q)) \supset \supset ((F^\sigma(m, q) < F^\sigma(m, p)) \& (F^\sigma(m, p) \leq 0,2)),$$

$$(16-3) \quad \forall m \forall p \forall q ((m < p) \& (p < q)) \supset \supset ((f^\sigma(m, q) < f^\sigma(m, p)) \& (f^\sigma(m, p) \leq 0,2)),$$

где $\sigma \in \{+, -\}$.

ЭТ, удовлетворяющие (15-3) и (16-3), будем называть **(σ)-совершенными**. Если ЭТ является (+)- и (-)-совершенными, то такие ЭТ будем называть **(\pm)-совершенными** (или кратко: **совершенными**).

(σ)-совершенные и совершенные ЭТ представляют устойчивую эмпирическую закономерность относительно $Str_{x,y}$ и последовательности вложенных баз фактов. Утверждения (15-3) и (16-3) выражают устойчивую регулярность ЭТ, а эмпирические законы выражают **максимальную регулярность**.

Квазиаксиоматические теории (КАТ) $\mathfrak{Z} = \langle \Sigma, \Sigma', \mathfrak{R} \rangle$ являются формализациями **открытых** теорий с расширяющимися базами фактов и с пополняемыми множествами гипотез и аксиом. Каждому члену последовательности баз фактов $B\Phi_p$ соответствует состояние КАТ.

Так как ДСМ-рассуждение, реализуемое в КАТ, состоит из последовательностей тактов i на Этапах I и последовательности Этапов I_p , образующих Этап II, который завершается принятием порождённых гипотез посредством вариантов abduction (a) или (b), то последовательности Этап I_1 , Этап I_2, \dots , Этап I_s соответствует последовательность состояний КАТ \mathfrak{Z} .

Обозначим посредством $\mathfrak{Z}_{x,y}^{(p,i)}$ состояние \mathfrak{Z} на Этапе I_p и его такте i , где $p = 1, \dots, s$, а $i = 1, \dots, n_p$. Тогда состояние КАТ на Этапе I_p есть

$$\mathfrak{Z}_{x,y}^p = \bigcup_{i=1}^{n_p} \mathfrak{Z}_{x,y}^{(p,i)}, \text{ где } \mathfrak{Z}_{x,y}^{(p,i)} = \langle \Sigma, \Sigma'_{p,i}, \mathfrak{R} \rangle, \text{ а } 1 \leq p < s,$$

а $\Sigma'_{p,i}$ содержат факты из $B\Phi_p$ и гипотезы, порождённые на Этапах I_q , где $q < p$, и гипотезы, порождённые на Этапе I_p и такте i , где $1 \leq i \leq n_p$. Заключительному Этапу I_s ДСМ-рассуждения соответствует КАТ для

$$\text{стратегии } Str_{x,y} \mathfrak{Z}_{x,y} = \bigcup_{p=1}^s \mathfrak{Z}_{x,y}^p = \bigcup_{p=1}^s \left(\bigcup_{i=1}^{n_p} \mathfrak{Z}_{x,y}^{(p,i)} \right), \text{ где}$$

$\rho^\sigma \leq \rho^\sigma(s) \leq 1$, а ρ^σ – пороги для абдуктивной сходимости ДСМ-рассуждений ($\sigma \in \{+, -\}$).

Начальным состоянием КАТ $\mathfrak{Z}^0 = \langle \Sigma, \Sigma'_0, \mathfrak{R} \rangle$ является множество аксиом Σ , $\Sigma'_0 = \Delta^\tau \cup \bar{\Omega}_0$, где

$\overline{\Omega}_0 = \Omega_0^+ \cup \Omega_0^- \cup \Omega_0^\tau$, и правила вывода – дедуктивные и правдоподобные (п.п.в.-1 и п.п.в.-2).

$\overline{\Omega}_0$ – представление базы фактов посредством соответствующих элементарных высказываний с предикатом $X \Rightarrow_1 Y$.

Σ содержит процедурные аксиомы A_1^σ, A_2^σ , где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$, аксиомы окончания ДСМ-рассуждения A_1 и A_2 , аксиомы структуры данных (в данной статье ими являются аксиомы булевых алгебр \mathcal{B}_1 и \mathcal{B}_2).

Такой состав Σ будем называть **ядерным** (или **ядром** аксиом КАТ). Расширением ядра КАТ являются аксиомы каузальной полноты АКП^(σ), соответствующие абдукции на Этапе II ДСМ-рассуждения, аксиомы, представляющие эмпирические законы и эмпирические тенденции. Возможным расширением ядерной КАТ является добавление аксиом предметной области. Напомним, что ядерная КАТ является непротиворечивой [9] (Глава 5, с. 240 – 286), однако добавление АКП^(σ) может породить противоречивую КАТ, у которой не будет модели.

ДСМ-рассуждению, состоящему из последовательности Этапов Этап $I_1, \dots, \text{Этап } I_s$, соответствует последовательность состояний КАТ $\mathfrak{Z}^0, \mathfrak{Z}_{x,y}^1, \dots, \mathfrak{Z}_{x,y}^s$ для $\text{Str}_{x,y}$, где \mathfrak{Z}^0 – начальное состояние КАТ для любой $\text{Str}_{x,y}$.

$\mathfrak{Z}_{x,y}^s$ является заключительным состоянием КАТ таким, что для него выполняется условие абдуктивной сходимости к заданным порогам $\rho^\sigma \leq \rho^\sigma(s) \leq 1$. Если $\rho^\sigma(s)=1$, а следовательно, АКП^(σ) истинны относительно БФ_s , где $\sigma \in \{+, -\}$, то это означает, что $\overline{\Delta}_{2s-1} \cup \overline{\Omega}_{2s}$ является диаграммой модели \mathbb{M} множества аксиом Σ_s .

Таким образом, процедура абдуктивного объяснения начального состояния БФ_0 для абдукции типа (a) и типа (b) является средством **управления** процессом ДСМ-рассуждения, посредством которого порождаются из состояния КАТ \mathfrak{Z}^0 состояния $\mathfrak{Z}_{x,y}^1, \dots, \mathfrak{Z}_{x,y}^s$ для стратегии $\text{Str}_{x,y}$.

Следовательно, заключительное состояние КАТ $\mathfrak{Z}_{x,y}^s$ есть **завершённая** КАТ: $\mathfrak{Z}_{x,y} = \mathfrak{Z}_{x,y}^s$, где $\mathfrak{Z}_{x,y} = \langle \Sigma_s,$

$$\Sigma'_s, \mathfrak{R} \rangle, \Sigma \subseteq \Sigma_s, \Sigma'_s = \Sigma'_0 \cup \left(\bigcup_{p=1}^s \left(\bigcup_{i=1}^{n_p} \Sigma'_{p,i} \right) \right), \text{ где } i -$$

номер соответствующего такта ДСМ-рассуждения, а $\Sigma'_{p,i} = \overline{\Delta}_{p,2i-1} \cup \overline{\Omega}_{p,2i}$.

Σ_s содержит ядро КАТ, а также, возможно, эмпирические законы, эмпирические тенденции и их основания, аксиомы каузальной полноты АКП^(σ). Кроме того, Σ_s может содержать условия, представляющие (σ) - совершенные эмпирические тенденции (15-3) и (16-3) для КАТ $\mathfrak{Z}_{x,y}$ таких, что АКП^(σ) не являются истинными. КАТ $\mathfrak{Z}_{x,y}$ такие, что выполняются (15-3) и (16-3), будем называть (σ) - **совершенными**. КАТ $\mathfrak{Z}_{x,y}$ такие, что выполняются АКП^(σ), где $\sigma \in \{+, -\}$, будем называть **каузально полными**. Каузально

полные $\mathfrak{Z}_{x,y}$ являются непротиворечивыми. Принятие гипотез в таких $\mathfrak{Z}_{x,y}$ осуществляется посредством абдукции типа (a), а в (σ)-совершенных $\mathfrak{Z}_{x,y}$ принятие гипотез осуществляется посредством абдукции типа (b), которые были определены в §2. КАТ $\mathfrak{Z}_{x,y}$ соответствует процедурная семантика PrSem^a , содержащая предикат Ad для принятия гипотез посредством абдукции типа (a) или (b).

Непротиворечивые КАТ $\mathfrak{Z}_{x,y}$, содержащие истинные АКП^(σ) и реализующие абдукцию типа (a), будем обозначать посредством $\text{Consis}(\mathfrak{Z}_{x,y})$.

$\mathfrak{Z}_{x,y}$, содержащие неистинные АКП^(σ) и реализующие абдукцию типа (b), будем обозначать посредством $\neg \text{Consis}(\mathfrak{Z}_{x,y})$.

В первом случае $\mathfrak{Z}_{x,y} = \langle \Sigma_s, \Sigma'_s, \mathfrak{R} \rangle$ содержит обнаруженные эмпирические законы (ЭЗ), во втором $\mathfrak{Z}_{x,y}$ может содержать эмпирические тенденции (ЭТ). Как ЭЗ, так и ЭТ принадлежат множеству Σ_s , являющемуся расширением ядра КАТ Σ .

Σ'_s содержит как гипотезы о причинах (для предиката $V \Rightarrow_2 W$), так и гипотезы о предсказаниях эффектов (для предиката $X \Rightarrow_1 Y$).

Обозначим посредством $Q_i^{\sigma_i}$ и $C_i^{\sigma_i}$, где $\sigma \in \{+, -\}$, позитивные (негативные) эффекты и соответствующие им (σ_i) - причины. Под негативным эффектом Q_i^- понимается эффект, отсутствие которого гарантируется некоторой причиной C_i^- .

Пусть $Q_1^{\sigma_1}, \dots, Q_{r_1}^{\sigma_{r_1}}$ и $C_1^{\sigma_1}, \dots, C_{r_2}^{\sigma_{r_2}}$ – множества порождённых эффектов и их причин в КАТ. Тогда результатом knowledge discovery посредством ДСМ-рассуждений в ИС-ДСМ является множество эмпирических законов и эмпирических тенденций для обнаруженных эффектов $Q_1^{\sigma_1}, \dots, Q_{r_1}^{\sigma_{r_1}}$ и соответствующих им причин $C_1^{\sigma_1}, \dots, C_{r_2}^{\sigma_{r_2}}$. Заметим, что эффект $Q_i^{\sigma_i}$ может иметь несколько причин.

Следует обратить внимание на динамический характер ДСМ-рассуждений, которые реализуются для последовательности вложенных баз фактов $\text{БФ}_0 \subseteq \text{БФ}_1 \subseteq \dots \subseteq \text{БФ}_s$, где БФ_0 соответствует начальное состояние КАТ $\mathfrak{Z}^0 = \langle \Sigma, \Sigma'_0, \mathfrak{R} \rangle$. В силу этого возможно распознавание эмпирических закономерностей (законов и тенденций) посредством функционалов F^σ и f^σ и абдуктивной сходимости с использованием $\rho^\sigma(s)$. F^σ, f^σ выражают устойчивую регулярность эмпирических закономерностей, а $\rho^\sigma(s)$ выражает существенность порождённых причин посредством объяснения начальной базы фактов БФ_0 и монотонности $\rho^\sigma(i)$: $\rho^\sigma(0) \leq \rho^\sigma(1) \leq \dots \leq \rho^\sigma(s)$ ⁴¹, где $\rho^\sigma \leq \rho^\sigma(s) \leq 1$, а ρ^σ – порог абдуктивной сходимости ($\sigma \in \{+, -\}$). Естественно положить $\rho^\sigma = 0,8$, как это обычно делают в работах по распознаванию образов.

⁴¹ $\rho^\sigma(0)$ определяется для БФ_0 .

Таким образом, эмпирические закономерности устанавливаются относительно последовательности вложенных баз фактов $B\Phi_0 \subset B\Phi_1 \subset \dots \subset B\Phi_s$ и стратегии $Str_{x,y}$ посредством проверки непротиворечивости расширений БФ и абдуктивной сходимости.

Если имеет место схема абдуктивного принятия гипотез (а), имеющая дедуктивную имитацию посредством АКП^(σ) и $\rho^\sigma(s)=1$, то порождаются сильные эмпирические закономерности (эмпирические законы или тенденции). Если же имеет место тотальная корректность ДСМ-рассуждений, представимая предикатами $\bar{K}(p, q)$ и $\bar{R}(p, q)$, то порождаются эмпирические законы – сильные, если $\rho^\sigma(s)=1$, и слабые, если $\rho^\sigma \leq \rho^\sigma(s) < 1$.

Если же имеет место схема абдуктивного принятия гипотез (b) при условии частичной выполнимости АКП^(σ), то порождаются слабые эмпирические закономерности (ЭЗК). Эти ЭЗК могут быть эмпирическими тенденциями (ЭТ) и притом (σ) - совершенными. Если ЭТ являются (σ) - совершенными, то это означает, обнаружена устойчивая регулярность ЭТ. Все эти ЭЗК включаются в множество аксиом Σ_s , которое является расширением исходного множества аксиом Σ из начального состояния $\mathfrak{Z}^0 = \langle \Sigma, \Sigma'_0, \mathfrak{R} \rangle$.

Результат расширения \mathfrak{Z}^0 , образующий $\mathfrak{Z}_{x,y}$, представляет knowledge discovery посредством ДСМ-рассуждений, конструктивно реализуемых в ИС-ДСМ.

Таким образом, сильные и слабые эмпирические законы и эмпирические тенденции и их основания принадлежат Σ_s в заключительном состоянии КАТ $\mathfrak{Z}_{x,y}$.

Пусть утверждения (1-3) и (2-3) принадлежат Σ_s такой, что Σ_s имеет модель \mathbb{M} , диаграммой которой является $\bar{\Delta}_{2s-1} \cup \bar{\Omega}_{2s}$. Следовательно, $Consis(\Sigma_s)$, где

$$\begin{aligned} \exists Z \forall p \forall q L_1^+(Z, Q, p, q) \in \Sigma_s \text{ и} \\ \exists V \forall p \forall q L_2^+(V, Q, p, q) \in \Sigma_s; \end{aligned}$$

пусть также

$$\begin{aligned} \exists Z \forall p \forall q L_1^-(Z, Q, p, q) \in \Sigma_s \text{ и} \\ \exists V \forall p \forall q L_2^-(V, Q, p, q) \in \Sigma_s, \end{aligned}$$

а \mathbb{M} – модель Σ_s .

Тогда, используя $\bar{\Delta}_{2s-1}, \bar{\Omega}_{2s}$ и PrSem в КАТ $\mathfrak{Z}_{x,y}^5$ можно получить реализации эмпирических законов и их оснований

$$\begin{aligned} \forall p \forall q L_1^+(C, Q, p, q), \forall p \forall q L_1^-(C_1, Q_1, p, q) \in \Sigma_s; \\ \forall p \forall q L_2^+(C', Q, p, q) \in \\ \in \Sigma_s, \forall p \forall q L_2^-(C_2, Q_2, p, q) \in \Sigma_s. \end{aligned}$$

Аналогичное имеет место и для эмпирических тенденций.

Замечание 2-3. Реализация эмпирических законов и их оснований (как и реализации эмпирических тенденций и их оснований) являются результатом рассмотрения процесса ДСМ-рассуждений для последо-

вательностей $B\Phi_0 \subset B\Phi_1 \subset \dots \subset B\Phi_s$ и $\mathfrak{Z}^0, \mathfrak{Z}_{x,y}^1, \dots, \mathfrak{Z}_{x,y}^s$, где $\mathfrak{Z}_{x,y}^s$ есть заключительное состояние КАТ.

Очевидно, что $\forall p \forall q L_1^+(C, Q, p, q)$ информативнее гипотезы $J_{\langle 1, 2n_s \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$, а $\forall p \forall q L_2^+(C', Q, p, q)$

информативнее гипотезы $J_{\langle 1, 2n_s - 1 \rangle}(C' \Rightarrow_2 Q)$, так как эмпирический закон для эффекта и его основание выражают **устойчивую регулярность**, что есть эмпирическая закономерность, извлечённая из последовательности вложенных баз фактов.

Эмпирические закономерности, представляющие устойчивые регулярности, характеризуются условиями (15-3) для F^σ , условиями (16-3) для f^σ , а также посредством цепи неравенств $\rho^\sigma(0) \leq \rho^\sigma(1) \leq \dots \leq \rho^\sigma(s)$, соответствующей $B\Phi_0 \subset B\Phi_1 \subset \dots \subset B\Phi_s$. Заметим, что $B\Phi_0$ является основной (исходной) базой фактов такой, что она содержит как (±) - факты, так и (τ) - факты, неопределённость которых подвергается преобразованию в (σ) - гипотезы, где $\sigma \in \{+, -\}$ ⁴². Добавляемые к $B\Phi_0$ факты в $B\Phi_i$, где $i = 1, \dots, s$, содержат только (±) - факты и не содержат неопределённостей – (τ) - фактов.

Однако имеется ещё одно условие, характеризующее устойчивую регулярность ЭЗК, извлекаемых из последовательности $B\Phi_0, B\Phi_1, \dots, B\Phi_s$. Это условие характеризует монотонно возрастающую предсказательную силу ДСМ-рассуждений.

Рассмотрим исходную $B\Phi_0$ и соответствующий Этап I ДСМ-рассуждения с n тактами, где n -й такт есть такт стабилизации ДСМ-рассуждения. Тогда $\Omega_0^\tau, \Omega_{2n}^\tau$ и $|\Omega_{2i}^\tau|$, где $i = 0, 1, \dots, n$, – исходное множество (τ) - фактов ($J_{(\tau, 0)}(C \Rightarrow_1 Q)$), множество (τ) - гипотез на заключительном такте стабилизации ДСМ-рассуждения, число элементов множества Ω_{2i}^τ , соответственно. Так как для ДСМ-метода имеет место соотношение

$$(\tau, n) = \{ \langle 1, n+1 \rangle, \langle -1, n+1 \rangle, \langle 0, n+1 \rangle \} \cup (\tau, n+1),$$

то порождается последовательность вложенных множеств (τ) - примеров (гипотез) Ω_{2i}^τ такая, что:

$$\Omega_{2n}^\tau \subseteq \Omega_{2n-2}^\tau \subseteq \dots \subseteq \Omega_2^\tau \subseteq \Omega_0^\tau.$$

Таким образом, Ω_{2i}^τ **монотонно убывают**, а следовательно, в процессе ДСМ-рассуждения уменьшается начальное множество неопределённостей Ω_0^τ для $B\Phi_0$.

Введём теперь следующее определение степени предсказуемости относительно исходного множества неопределённостей Ω_0^τ на такте i ДСМ-рассуждения:

$$Df. 9-3. \quad \mu(i) = 1 - \frac{|\Omega_{2i}^\tau|}{|\Omega_0^\tau|},$$

⁴² Напомним, что

$(\tau, m) = \{ \langle 1, m+1 \rangle, \langle -1, m+1 \rangle, \langle 0, m+1 \rangle \} \cup (\tau, m+1)$.

$$\text{где } \mu(i) = \begin{cases} 0, & \text{если } \Omega_{2i}^{\tau} = \Omega_0^{\tau} \\ 1, & \text{если } \Omega_{2i}^{\tau} = \emptyset \\ x, & \text{если } |\Omega_{2i}^{\tau}| < |\Omega_0^{\tau}|, \end{cases}$$

где $0 < x < 1$; $\mu(i)$ есть степень предсказуемости относительно Ω_0^{τ} на такте i ДСМ-рассуждения ($i = 1, \dots, n$).

Очевидно, что наиболее информативным является значение $\mu(n)$ на n -м такте стабилизации ДСМ-рассуждения.

Пусть реализуется ДСМ-рассуждение на Этапе II, управляемое абдукцией типа (a) или (b). Тогда имеется последовательность Этапов I_p , где $1 \leq p \leq s$, такая, что ей соответствует последовательность вложенных баз фактов $B\Phi_0, B\Phi_1, \dots, B\Phi_s$, для которой определена степень абдуктивной объясняемости $\rho^{\sigma}(p)$, где $\sigma \in \{+, -\}$, $p = 0, 1, \dots, s$.

Каждой $B\Phi_p$ соответствует Этап I_{p+1} ДСМ-рассуждения, где $p = 0, 1, \dots, s$, поэтому для $B\Phi_p$ и Этапа I_p определяется $\mu_p(i)$ и $\mu_p(n_p)$, где n_p – номер такта стабилизации ДСМ-рассуждения на Этапе I_{p+1} . Следовательно, для Этапа II определимы последовательности $\mu_0(n_0), \mu_1(n_1), \dots, \mu_s(n_s)$, где n_j – номера тактов стабилизации ДСМ рассуждения на Этапах I_{p+1} , где $j = 0, 1, \dots, s$.

Следующее условие является ещё одной характеристикой устойчивой регулярности ЭЗК для выбранной $Str_{x,y}$ и последовательности вложенных $B\Phi - B\Phi_0, B\Phi_1, \dots, B\Phi_s$:

$$\forall p \forall q ((p < q) \supset (\mu_p(n_p) \leq \mu_q(n_q))),$$

где n_p и n_q – соответствующие номера тактов стабилизации для Этапов I_{p+1} и I_{q+1} .

Для ДСМ-рассуждения в ИС-ДСМ имеются три возможных исхода: $\mu_s(n_s) = 1$, $\mu_s(n_s) < 1$ и $\mu_s(n_s) = 0$.

Используя абдуктивную схему принятия гипотез и $\rho^{\sigma}(s)$, функционалы F^{σ}, f^{σ} и степень предсказуемости, можно охарактеризовать качество ДСМ-рассуждений посредством значений $\mu_s(n_s), \rho^{\sigma}(s), F^{\sigma}$ и f^{σ} относительно применяемой $Str_{x,y}$ и последовательности вложенных баз фактов $B\Phi_0, B\Phi_1, \dots, B\Phi_s$.

Естественно предположить, что хорошим качеством будет обладать ДСМ-рассуждение, обнаружившее эмпирические закономерности (эмпирические законы или тенденции), такое, что для него также выполняются условия монотонного возрастания $\rho^{\sigma}(p)$ до достижения порогов ρ^{σ} и монотонного возрастания $\mu_p(n_p)$; в случае же обнаружения эмпирических тенденций добавляются условия

$$(15-3) \quad \forall m \forall p \forall q ((m < p) \& (p < q) \supset \\ \supset ((F^{\sigma}(m, q) < F^{\sigma}(m, p)) \& (F^{\sigma}(m, p) \leq 0,2))),$$

$$(16-3) \quad \forall m \forall p \forall q ((m < p) \& (p < q) \supset \\ \supset ((f^{\sigma}(m, q) < f^{\sigma}(m, p)) \& (f^{\sigma}(m, p) \leq 0,2))),$$

где $\sigma \in \{+, -\}$.

Таким образом, высоким качеством будут обладать ДСМ-рассуждения, обнаружившие эмпирические законы (ЭЗ) или эмпирические тенденции (ЭТ), такие, что

$$(1) \quad \mu_s(n_s) = 1,$$

(2) $\rho^{\sigma} \leq \rho^{\sigma}(s) \leq 1$ с монотонно возрастающей $\rho^{\sigma}(p)$,

(3) удовлетворяются условия (15-3) и (16-3) для (σ) - совершенных тенденций.

Наличие ЭЗК и условий (1) – (3) характеризуют качество ДСМ-рассуждения для фиксированной $Str_{x,y}$ относительно последовательности $B\Phi$, но можно охарактеризовать также качество отдельной гипотезы.

Оценка качества порождаемых ДСМ-методом АПГ гипотез осуществляется на трёх уровнях. На первом уровне характеризуется само ДСМ-рассуждение посредством последовательности множеств гипотез, соответствующих семейству вложенных баз фактов $B\Phi_0, B\Phi_1, \dots, B\Phi_s$.

На втором уровне характеризуются четыре возможных типа гипотез о (σ) - причинах ($\sigma \in \{+, -\}$): гипотезы, объясняющие факты из $B\Phi_0$ (точнее, из $B\Phi_0^+$ и $B\Phi_0^-$) и одновременно предсказывающие (σ) - примеры для предиката \supset_1 ($\sigma \in \{+, -\}$) для (τ)-фактов из $B\Phi_0^{\tau}$ – такие гипотезы назовём **полезными**; гипотезы, объясняющие факты из $B\Phi_0$, но не являющиеся полезными (не участвующими в предсказании посредством аналогии, т.е. посредством п.п.в.-2); гипотезы, не являющиеся объясняющими, такие, что они являются полезными; и, наконец, гипотезы, не объясняющие факты из $B\Phi_0$ и не являющиеся полезными. Очевидно, что это гипотезы худшего качества.

На третьем уровне оценки качества порождаемых гипотез формируется шкала характеристики гипотез о причинах h^{σ} , где $\sigma \in \{+, -\}$. В состав этой шкалы входит упоминание $Str_{x,y}$ из частично упорядоченного множества стратегий \overline{Str} , где

$$\overline{Str} = \{ Str_{x,y} \mid (x \in 2^{A^+}) \& (y \in 2^{A^-}) \}^{43},$$

истинностное значение $\langle v, n \rangle$, где $v \in \{1, -1, 0\}$; число примеров («родителей» h^{σ}) k , используемых для порождения h^{σ} , принадлежность гипотез к множеству причин, образующих ЭЗК (эмпирические законы или тенденции) или отсутствие такой принадлежности.

Пусть на первом уровне оценки качества ДСМ-рассуждений выполняются предикаты $L^{\sigma}(Z, U, p, q)$ и $\tilde{L}^{\sigma}(V, W, p, q)$, характеризующие семейства эмпирических закономерностей и их оснований, соответственно, определённых посредством *Df. 1-3* и *Df. 2-3*. Это означает, что существуют

$Q_1^{\sigma_1}, \dots, Q_{r_1}^{\sigma_{r_1}}$ -эффекты и соответствующие им (σ_i) - причины $C_1^{\sigma_1}, \dots, C_{r_2}^{\sigma_{r_2}}$, где $\sigma_i \in \{+, -\}$.

Уточнениями этих ЭЗК являются, во-первых, их характеристики как эмпирических законов или эмпи-

⁴³ Частный случай \overline{Str} рассмотрен в §2; он может быть расширен за счёт других правил индуктивного вывода [9].

рических тенденций посредством утверждений $\exists Z \forall p \forall q L_1^\sigma(Z, Q_i, p, q)$ (для эмпирических законов) и $\exists V \forall p \forall q L_2^\sigma(V, Q_i, p, q)$ (для их оснований, т.е. соответствующих (σ) - причин) и посредством утверждений $\exists Z \forall p \forall q L_3^\sigma(Z, Q_i, p, q)$ (для эмпирических тенденций) и $\exists V \forall p \forall q L_4^\sigma(V, Q_i, p, q)$ (для их оснований).

Во-вторых, уточнениями этих ЭЗК является их характеристика как сильных и слабых посредством предикатов $L_{1s}^+(Z, U, p, q)$ и $L_{1w}^+(Z, U, p, q)$ (для эмпирических законов) и предикатов $L_{2s}^+(V, W, p, q)$ и $L_{2w}^+(V, W, p, q)$ (для оснований эмпирических законов). Аналогичное имеет место для эмпирических тенденций.

В-третьих, уточнением оценки качества ДСМ-рассуждений на первом уровне их характеристики является распознавание условий монотонного возрастания функций $\rho^\sigma(p)$ и $\mu_p(n_p)$, а также выполнимость условий (15-3) и (16-3) для функционалов F^σ и f^σ , где $\sigma \in \{+, -, 0\}$. Это уточнение усиливает предположение об устойчивой регулярности обнаруженных эмпирических законов и тенденций.

Рассмотрим второй уровень оценки качества гипотез, порождаемых посредством ДСМ-рассуждений.

Пусть C_i и Q_i – константы, $J_{(1,0)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i) \in \Omega_{0,s}^+$, а $\Omega_{0,s}^+$ есть декларативное представление $(+)$ - фактов для заключительной БФ_s из последовательности БФ₀, БФ₁, ..., БФ_s ($s \geq 0$).

Тогда АКП_{*}⁽⁺⁾ соответствует множество

$$E_{(C_i, Q_i)}^+ = \{V \mid (J_{(1,0)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i) \rightarrow \rightarrow \exists m (J_{(1,2m-1)}(V \Rightarrow_2 Q_i) \& (V \subset C_i)))\},$$

где $1 \leq m \leq n_s$, а n_s – номер такта стабилизации ДСМ-рассуждения такой, что он относится к заключительной БФ_s из последовательности БФ₀, БФ₁, ..., БФ_s ($s > 0$).

Пусть $C' \in E_{(C_i, Q_i)}^+$, а $h^+ = J_{(1,2k_0-1)}(C' \Rightarrow_2 Q)$, где k_0 – константа, а C' и Q выбраны из множества гипотез о $(+)$ - причинах, соответствующих БФ_s.

h^+ будем называть **объясняющей** гипотезой.

Df. 9-3. ДСМ-рассуждение называется **(+) - нормальным**, если и только если все элементы множества $\Omega_{0,0}^+$, соответствующего БФ₀, имеют объясняющие гипотезы.

Аналогично определим

$$E_{(C_i, Q_i)}^- = \{V \mid (J_{(-1,0)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i) \rightarrow \rightarrow \exists m (J_{(-1,2m-1)}(V \Rightarrow_2 Q_i) \& (V \subset C_i)))\}$$

и объясняющие гипотезы

$$h^- = J_{(-1,2k_0-1)}(C' \Rightarrow_2 Q).$$

Df. 10-3. ДСМ-рассуждение называется **нормальным**, если и только если все элементы множества $\Omega_{0,0}^+ \cup \Omega_{0,0}^-$ имеют объясняющие гипотезы.

Введённые определения можно обобщить для АКП^(σ), где АКП⁽⁺⁾ есть

$$\begin{aligned} & \forall X \forall Y (J_{(1,0)}(X \Rightarrow_1 Y) \rightarrow \\ & \rightarrow \exists k \exists m^{(1)} \dots \exists m^{(k)} \exists V_1 \exists V_2 \dots \exists V_k \exists W_1 \dots \\ & \exists W_k (J_{(1,2m^{(1)}-1)}(V_1 \Rightarrow_2 W_1) \& \dots \& J_{(1,2m^{(k)}-1)}(V_k \Rightarrow_2 W_k) \& \\ & \& (V_1 \subset X) \& \dots \& (V_k \subset X) \& (\bigcup_{j=1}^k W_j = Y))). \end{aligned}$$

АКП⁽⁺⁾ соответствует множество

$$\begin{aligned} E_{(C_i, Q_i)}^+ &= \{V_1 \mid (J_{(1,0)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i) \rightarrow \\ & \rightarrow \exists k \exists m^{(1)} \dots \exists m^{(k)} \exists V_2 \dots \exists V_k \exists W_1 \dots \\ & \exists W_k (J_{(1,2m^{(1)}-1)}(V_1 \Rightarrow_2 W_1) \& \dots \& J_{(1,2m^{(k)}-1)}(V_k \Rightarrow_2 W_k) \& \\ & \& (V_1 \subset X) \& \dots \& (V_k \subset X) \& (\bigcup_{j=1}^k W_j = Q_i))), \end{aligned}$$

где $1 \leq m^{(j)} \leq n_s$, $j = 1, \dots, k$, а n_s – номер такта стабилизации ДСМ-рассуждения такого, что он относится к заключительной БФ_s из последовательности БФ₀, БФ₁, ..., БФ_s ($s > 0$).

Пусть $C' \in E_{(C_i, Q_i)}^+$, а $h^+ = J_{(1,2k_0-1)}(C' \Rightarrow_2 Q')$, где k_0 – константа, а C' и Q' выбраны из множества гипотез о $(+)$ - причинах, соответствующих БФ_s. h^+ является одной из гипотез, объясняющих факт $J_{(1,0)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i)$.

Аналогично для АКП⁽⁻⁾ определим $E_{(C_i, Q_i)}^-$ и h^- .

Для факта $J_{(1,0)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i)$ могут быть определены все гипотезы h_j^+ , его объясняющие (аналогично определяются и гипотезы h_j^- для $(-)$ - фактов).

Таким образом, гипотезы о (σ) - причинах могут быть охарактеризованы как объясняющие (σ) - факты из БФ_i, где $i = 0, 1, \dots, s$.

Важным случаем является нормальное ДСМ-рассуждение (*Df. 10-3*).

Утверждение 5-3. Если $\rho^\sigma(s) = 1$, где БФ_s – заключительная БФ в последовательности вложенных баз фактов, то ДСМ-рассуждение является (σ) - нормальным.

Так как БФ₀ ⊂ БФ_s, то в силу *Df. 9-3* ДСМ-рассуждение является (σ) - нормальным, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Замечание 3-3. Если все h^σ – объясняющие гипотезы, где $\sigma \in \{+, -\}$, и $h^\sigma \in \overline{\Omega}_{2n}^+ \cup \overline{\Omega}_{2n}^-$, то истинно

$Ad(\overline{\Omega}_{2n}^+ \cup \overline{\Omega}_{2n}^-)$ в соответствии с абдуктивным принятием гипотез.

Охарактеризуем теперь гипотезы о (σ) - причинах такие, что они используются в предикатах $\Pi_n^\sigma(V, W)$ из п.п.в.-2, которые осуществляют предсказания по аналогии.

Рассмотрим множество Ω_0^τ , элементами которого являются $J_{(\tau,0)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i)$, где $i = 0, 1, \dots, \bar{l}$. Этим высказываниям соответствуют пары $\langle C_i, Q_i \rangle$, предлагаемые для предсказания посредством п.п.в.-2 (аналогии). Результатом таких предсказаний будет полное или час-

точное устранение неопределённостей ($\tau, 0$), то есть замена типа истинностного значения τ на 1, -1 или 0 (фактические истина, ложь и противоречие).

Напомним определение предиката $\Pi_n^+(V, W)$ из §2:

$$\begin{aligned} \widetilde{\Pi}_n^+(V, W, k) &= \exists Y_1 \dots \exists Y_k \left(\bigwedge_{i=1}^k \exists X_i (J_{(1, 2n-1)}(X_i \Rightarrow Y_i) \& \right. \\ &\& (X_i \subset V)) \& \left(\bigcup_{i=1}^k Y_i = W \right) \& \forall U \left((U \subseteq W) \& (U \neq \emptyset) \right) \rightarrow \\ &\rightarrow \neg \exists Z \left((J_{(-1, 2n-1)}(Z \Rightarrow U) \vee J_{(0, 2n-1)}(Z \Rightarrow U)) \& (Z \subseteq V) \right) \right), \\ \Pi_n^+(V, W) &= \exists k \widetilde{\Pi}_n^+(V, W, k). \end{aligned}$$

Аналогично определяется $\Pi_n^-(V, W)$.

Рассмотрим пару $\langle C_i, Q_i \rangle$, соответствующую утверждению $J_{(\tau, 0)}(C_i \Rightarrow Q_i)$ из Ω_0^τ , представляющую неопределённость, предложенную для предсказания. Пусть $\Pi_n^+(C_i, Q_i)$ истинно.

Преобразуем $\widetilde{\Pi}_n^+(C_i, Q_i, k)$ следующим образом, определив $(k+1)$ -местные предикаты $\widetilde{A}_n^+(C_i, Q_i, k, X_1, \dots, X_k)$, где

$$\begin{aligned} \widetilde{A}_n^+(C_i, Q_i, k, X_1, \dots, X_k) &= \exists Y_1 \dots \exists Y_k \left(\bigwedge_{j=1}^k J_{(1, 2n-1)}(X_j \Rightarrow Y_j) \& \right. \\ &\& (X_j \subset C_i) \& \left(\bigcup_{j=1}^k Y_j = Q_i \right) \& \forall U \left((U \subseteq Q_i) \& (U \neq \emptyset) \right) \rightarrow \\ &\rightarrow \neg \exists Z \left((J_{(-1, n)}(Z \Rightarrow U) \vee J_{(0, 2n-1)}(Z \Rightarrow U)) \& (Z \subset C_i) \right) \right). \end{aligned}$$

Аналогично определим $\widetilde{A}_n^-(C_i, Q_i, k, X_1, \dots, X_k)$.

Пусть \bar{k} – константа, тогда посредством $\exists k \widetilde{A}_n^\sigma(C_i, Q_i, k, X_1, \dots, X_k)$ определим \bar{k} -местные предикаты $A_n^\sigma(C_i, Q_i, X_1, \dots, X_{\bar{k}})$ для каждой пары $\langle C_i, Q_i \rangle$, соответствующие Ω_0^τ , где $\sigma \in \{+, -\}$. Рассмотрим множество

$$\Gamma^\sigma(C_i, Q_i) = \{ \langle X_1, \dots, X_{\bar{k}} \rangle \mid A_n^\sigma(C_i, Q_i, X_1, \dots, X_{\bar{k}}) \}.$$

Пусть $\langle C'_1, \dots, C'_{\bar{k}} \rangle$ выполняет предикат $A_n^\sigma(C_i, Q_i, X_1, \dots, X_{\bar{k}})$, соответствующий паре $\langle C_i, Q_i \rangle$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Очевидно, что $C'_j \subset C_i$, где $j = 1, \dots, \bar{k}$. Так как $\Pi_n^+(C_i, Q_i)$ истинно, то $\exists Y J_{(1, 2n-1)}(C'_j \Rightarrow Y)$, где $j = 1, \dots, \bar{k}$. Аналогично получим $\exists Y J_{(-1, 2n-1)}(C'_j \Rightarrow Y)$.

Перебор всех гипотез из $\widetilde{\Delta}_{2n-1}^+$ и $\widetilde{\Delta}_{2n-1}^-$ для предиката $V \Rightarrow W$ делает возможным установление Q'_j таких, что $J_{(1, 2n-1)}(C'_j \Rightarrow Q'_j)$ и $J_{(-1, 2n-1)}(C'_j \Rightarrow Q'_j)$ и $\bigcup_{j=1}^k Q'_j = Q$. Следовательно, можно извлечь гипотезы $J_{(1, 2l-1)}(C'_j \Rightarrow Q'_j)$ и $J_{(-1, 2l-1)}(C'_j \Rightarrow Q'_j)$, где $1 \leq l \leq n$, а n – номер такта стабилизации ДСМ-рассуждения, а $j = 1, \dots, \bar{k}$.

Обнаруженные гипотезы, участвующие в предсказании посредством $\Pi_n^\sigma(V, W)$ в п.п.в.-2, будем называть **полезными**.

Таким образом, можно охарактеризовать порождённые гипотезы о (σ) - причинах, где $\sigma \in \{+, -\}$, как объясняющие и полезные, следовательно, для этих гипотез имеются четыре возможности: объясняющие и полезные, объясняющие и не полезные, не объясняющие и полезные, не объясняющие и не полезные.

$$\begin{aligned} \Pi_n^0(V, W) &= \exists X_1 \exists Y_1 \exists X_2 \exists Y_2 \left(J_{(1, 2n-1)}(X_1 \Rightarrow Y_1) \& \right. \\ &\& J_{(-1, 2n-1)}(X_2 \Rightarrow Y_2) \& (Y_1 \cap Y_2 \neq \emptyset) \& (X_1 \subset V) \& (X_2 \subset V) \& \\ &\& (Y_1 \subseteq W) \& (Y_2 \subseteq W) \vee \exists X \exists Y \left(J_{(0, 2n-1)}(X \Rightarrow Y) \& \right. \\ &\& (X \subset V) \& (Y \subseteq W) \left. \right). \end{aligned}$$

Пусть $\Pi_n^0(C_i, Q_i)$ истинно для пары $\langle C_i, Q_i \rangle$, преобразуем $\Pi_n^0(C_i, Q_i)$, определив предикаты $A_n^0(C_i, Q_i, X_1, X_2, X)$, $A_n^{(0,1)}(C_i, Q_i, X_1)$, $A_n^{(0,-1)}(C_i, Q_i, X_2)$, $A_n^{(0,0)}(C_i, Q_i, X)$ следующим образом:

$$\begin{aligned} A_n^0(C_i, Q_i, X_1, X_2, X) &= \exists Y_1 \exists Y_2 \left(J_{(1, 2n-1)}(X_1 \Rightarrow Y_1) \& \right. \\ &\& J_{(-1, 2n-1)}(X_2 \Rightarrow Y_2) \& (Y_1 \cap Y_2 \neq \emptyset) \& (X_1 \subset C_i) \& (X_2 \subset C_i) \& \\ &\& (Y_1 \subseteq Q_i) \& (Y_2 \subseteq Q_i) \vee \\ &\vee \exists Y \left(J_{(0, 2n-1)}(X \Rightarrow Y) \& (X \subset C_i) \& (Y \subseteq Q_i) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_n^{(0,1)}(C_i, Q_i, X_1) &= \exists X_2 \exists Y_1 \exists Y_2 \left(J_{(1, 2n-1)}(X_1 \Rightarrow Y_1) \& \right. \\ &\& J_{(-1, 2n-1)}(X_2 \Rightarrow Y_2) \& (Y_1 \cap Y_2 \neq \emptyset) \& (X_1 \subset C_i) \& (X_2 \subset C_i) \& \\ &\& (Y_1 \subseteq Q_i) \& (Y_2 \subseteq Q_i) \vee \\ &\vee \exists X \exists Y \left(J_{(0, 2n-1)}(X \Rightarrow Y) \& (X \subset C_i) \& (Y \subseteq Q_i) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_n^{(0,-1)}(C_i, Q_i, X_2) &= \exists X_1 \exists Y_1 \exists Y_2 \left(J_{(1, 2n-1)}(X_1 \Rightarrow Y_1) \& \right. \\ &\& J_{(-1, 2n-1)}(X_2 \Rightarrow Y_2) \& (Y_1 \cap Y_2 \neq \emptyset) \& (X_1 \subset C_i) \& (X_2 \subset C_i) \& \\ &\& (Y_1 \subseteq Q_i) \& (Y_2 \subseteq Q_i) \vee \\ &\vee \exists X \exists Y \left(J_{(0, 2n-1)}(X \Rightarrow Y) \& (X \subset C_i) \& (Y \subseteq Q_i) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_n^{(0,0)}(C_i, Q_i, X) &= \exists X_1 \exists X_2 \exists Y_1 \exists Y_2 \left(J_{(1, 2n-1)}(X_1 \Rightarrow Y_1) \& \right. \\ &\& J_{(-1, 2n-1)}(X_2 \Rightarrow Y_2) \& (Y_1 \cap Y_2 \neq \emptyset) \& (X_1 \subset C_i) \& (X_2 \subset C_i) \& \\ &\& (Y_1 \subseteq Q_i) \& (Y_2 \subseteq Q_i) \vee \\ &\vee \exists Y \left(J_{(0, 2n-1)}(X \Rightarrow Y) \& (X \subset C_i) \& (Y \subseteq Q_i) \right), \end{aligned}$$

Рассмотрим теперь множества $\Gamma^0(C_i, Q_i)$, $\Gamma^{(0,1)}(C_i, Q_i)$, $\Gamma^{(0,-1)}(C_i, Q_i)$ и $\Gamma^{(0,0)}(C_i, Q_i)$, соответствующие определенным выше предикатам:

$$\begin{aligned} \Gamma^0(C_i, Q_i) &= \{ \langle X_1, X_2, X \rangle \mid A_n^0(C_i, Q_i, X_1, X_2, X) \} \\ \Gamma^{(0,1)}(C_i, Q_i) &= \{ X_1 \mid A_n^{(0,1)}(C_i, Q_i, X_1) \} \\ \Gamma^{(0,-1)}(C_i, Q_i) &= \{ X_2 \mid A_n^{(0,-1)}(C_i, Q_i, X_2) \} \\ \Gamma^{(0,0)}(C_i, Q_i) &= \{ X \mid A_n^{(0,0)}(C_i, Q_i, X) \} \end{aligned}$$

Пусть $\langle C'_1, C'_2, C' \rangle$ выполняет предикат $A_n^0(C_i, Q_i, X_1, X_2, X)$. Очевидно, что $C'_1 \subset C_i$, $C'_2 \subset C_i$, $C' \subset C_i$. Так как $\Pi_n^0(C_i, Q_i)$ истинно, то $\exists Y (J_{(1, 2n-1)}(C'_1 \Rightarrow Y))$, $\exists Y J_{(-1, 2n-1)}(C'_2 \Rightarrow Y)$, $\exists Y (J_{(0, 2n-1)}(C' \Rightarrow Y))$.

Перебор всех гипотез из $\bar{\Delta}_{2n-1}^+$, $\bar{\Delta}_{2n-1}^-$ и $\bar{\Delta}_{2n-1}^0$, соответствующих предикату $V \Rightarrow_2 W$, делает возможным установление Q_1' , Q_2' и Q_0' таких, что истинны $J_{(1, 2n-1)}(C_1' \Rightarrow_2 Q_1')$, $J_{(-1, 2n-1)}(C_2' \Rightarrow_2 Q_2')$ и $J_{(0, 2n-1)}(C' \Rightarrow_2 Q_0')$. Следовательно, можно извлечь гипотезы $J_{(1, 2l-1)}(C_1' \Rightarrow_2 Q_1')$, $J_{(-1, 2l-1)}(C_2' \Rightarrow_2 Q_2')$ и $J_{(0, 2l-1)}(C' \Rightarrow_2 Q_0')$, где $1 \leq l \leq n$, а n – номер такта стабилизации ДСМ-рассуждения.

Обнаруженные гипотезы, участвующие в предсказании посредством $\Pi_n^0(V, W)$ будем также называть **полезными**. Таким образом, может быть распознана полезность гипотез для типов истинностных значений v , где $v \in \{1, -1, 0\}$, что завершает на втором уровне оценку качества гипотез о (σ) -причинах.

На третьем уровне оценки качества гипотез о (σ) -причинах формируется шкала оценки индивидуальных гипотез для предиката $V \Rightarrow_2 W$. Эта шкала состоит из следующих характеристик: $\text{Str}_{x,y}$, $\langle v, m \rangle$, число примеров («родителей» гипотезы), объясняющая, полезная, принадлежность к эмпирическим законам (ЭЗ), принадлежность к эмпирическим тенденциям (ЭТ).

Таким образом, имеем следующую шкалу:

$\text{Str}_{x,y}$	$\langle v, m \rangle$	k	объясняющая	полезная	ЭЗ	ЭТ
--------------------	------------------------	-----	-------------	----------	----	----

$\text{Str}_{x,y}$ задана, $\langle v, m \rangle$ получена применением п.п.в.-1, k выбрана ($k \geq 2$); гипотезы h^σ , где $\sigma \in \{+, -\}$, охарактеризованы посредством $E^\sigma(C_i, Q_i)$ для $J_{(1, 0)}(C_i \Rightarrow_2 Q_i)$ ($J_{(-1, 0)}(C_i \Rightarrow_2 Q_i)$) как объясняющие; гипотезы h^σ охарактеризованы посредством предикатов $A_n^\sigma(C_i, Q_i, X_1, \dots, X_k)$ для пар $\langle C_i, Q_i \rangle$, соответствующих Ω_0^τ , где $\sigma \in \{+, -\}$, как полезные; гипотезы $J_{(0, 2n-1)}(C' \Rightarrow_2 Q')$, охарактеризуем, как полезные, посредством предикатов $A_n^0(C_i, Q_i, X_1, X_2, X)$, $A_n^{(0.1)}(C_i, Q_i, X_1)$, $A_n^{(0.-1)}(C_i, Q_i, X_2)$, $A_n^{(0.0)}(C_i, Q_i, X)$ для пар $\langle C_i, Q_i \rangle$, соответствующих Ω_0^τ .

Пусть $J_{(\tau, 2n-2)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i) \in \bar{\Omega}_{2n-2}^\tau$ и $\Pi_n^+(C_i, Q_i)$ истинно, тогда гипотеза $J_{(1, 2n)}(C_i \Rightarrow_1 Q_i)$, полученная посредством п.п.в.-2, является **полезной**. Аналогично определяются полезные гипотезы для $v \in \{-1, 0\}$.

Элементами шкалы для оценки этих гипотез являются $\text{Str}_{x,y}$, $\langle v, 2n \rangle$, k , где k получено из определений предикатов M^σ , полезность (её отсутствие), ЭЗ и ЭТ.

Так как позитивный эмпирический закон (ЭЗ) представим утверждением $\exists Z \forall p \forall q L^+(Z, Q, p, q)$ и $\tilde{V}_{1,Q}^+ = \{Z \mid \forall p \forall q L_1^+(Z, Q, p, q)\}$, то можно найти C' такой, что $C' \in \tilde{V}_{1,Q}^+$ [32]. Следовательно, реализация ЭЗ есть $\forall p \forall q L_1^+(C', Q, p, q)$, а гипотеза $J_{(1, 2n)}(C \Rightarrow_1 Q)$ имеет характеристику ЭЗ. Аналогичную характеристику имеет и гипотеза $J_{(-1, 2n)}(C \Rightarrow_1 Q)$ посредством использования предиката $L_1^-(Z, Q, p, q)$.

Для характеристики гипотез о (σ) -причинах следует использовать предикаты для оснований позитивных (негативных) эмпирических законов $L_2^\sigma(V, W, p, q)$, где $\sigma \in \{+, -\}$ [32]. Аналогично характеризуются и эмпирические тенденции посредством предикатов $L_3^\sigma(Z, U, p, q)$ и $L_4^\sigma(V, W, p, q)$.

Замечание 4-3. ДСМ-метод АПГ как средство анализа данных, предсказания и объяснения, полу-

ченных результатов **на достаточном основании** использует частично упорядоченное множество стратегий $\bar{\text{Str}} = \{\text{Str}_{x,y} \mid (x \in 2^{A^+}) \& (y \in 2^{A^-})\}$. В данной статье рассмотрена одна из возможностей задания $\text{Str}_{x,y}$, в которой используются только элементарные $\text{Str}_{x,y}$ с $M_{x,n}^+$ и $M_{y,n}^-$ [27]. Неэлементарными вариантами ДСМ-метода АПГ являются п.п.в.-1 для соединенного метода сходства-различия, метода остатков, метода сопутствующих изменений [28], а также обобщенный ДСМ-метод АПГ и ДСМ-метод с отношением порядка [9].

Каждой стратегии $\text{Str}_{x,y}$ из $\bar{\text{Str}}$ соответствует квазиаксиоматическая теория $\mathfrak{F}_{x,y}$. Поэтому полной реализацией ДСМ-метода является экспериментальный выбор **максимальных** $\text{Str}_{x,y}$ в частично упорядоченном множестве $\bar{\text{Str}}$ в соответствии с оценками качества ДСМ-рассуждений на всех трех уровнях (с учетом принятых предпочтений, составляющих эти уровни параметров).

Рассмотрим заданное множество стратегий $\bar{\text{Str}}$, $\bar{\text{Str}} = \{\text{Str}_{x_1, y_1}, \dots, \text{Str}_{x_l, y_l}\}$. $\bar{\text{Str}}$ соответствует множество КАТ $\mathfrak{F} = \{\mathfrak{F}_{x_1, y_1}, \dots, \mathfrak{F}_{x_l, y_l}\}$. Определим на $\bar{\text{Str}}$ операции пересечения и объединения стратегий для соответствующих КАТ. Рассмотрим два случая для пар Str_{x_1, y_1} и Str_{x_2, y_2} , когда они не сравнимы и когда они сравнимы.

Пусть Str_{x_1, y_1} и Str_{x_2, y_2} не сравнимы, а $h_1 = J_{\langle v, m_1 \rangle}(C \Rightarrow_j Q)$ и $h_2 = J_{\langle v, m_2 \rangle}(C \Rightarrow_j Q)$, где $v \in \{1, -1, 0\}$, $j = 1, 2$, а h_1 получена посредством Str_{x_1, y_1} и h_2 получена посредством Str_{x_2, y_2} , тогда $h_i \in \text{Str}_{x_1, y_1} \cap \text{Str}_{x_2, y_2}$, если $h_i = J_{\langle v, \max(m_1, m_2) \rangle}(C \Rightarrow_j Q)$; $h_i \in \text{Str}_{x_1, y_1} \cup \text{Str}_{x_2, y_2}$, если $h_i = J_{\langle v, \min(m_1, m_2) \rangle}(C \Rightarrow_j Q)$. Вводимые условия естественны, так как степени правдоподобия гипотез тем больше, чем меньше число шагов п.п.в. m_i .

Если $h_1 = J_{\langle v, m_1 \rangle}(C \Rightarrow_j Q)$, $h_2 = J_{\langle \tau, m_2 \rangle}(C \Rightarrow_j Q)$, где $v \in \{1, -1, 0\}$, а $j = 1, 2$, то $h_1 \in \text{Str}_{x_1, y_1} \cup \text{Str}_{x_2, y_2}$.

Гипотезы $h_1 = J_{\langle v, m_1 \rangle}(C \Rightarrow_j Q)$ и $h_2 = J_{\langle \mu, m_2 \rangle}(C \Rightarrow_j Q)$, называются противоречивыми или контрарными, если $v \neq \mu$ и $v, \mu \in \{1, -1, 0\}$.

Str_{x_1, y_1} и Str_{x_2, y_2} являются непротиворечивыми, если они не содержат противоречивых гипотез. Операции \cap и \cup , заданные на $\bar{\text{Str}}$, будем называть корректными для Str_{x_1, y_1} и Str_{x_2, y_2} , если эти стратегии непротиворечивы.

Если же Str_{x_1, y_1} и Str_{x_2, y_2} являются противоречивыми, то имеются два случая, которые характеризуются функционалами F^σ и f^σ , где $\sigma \in \{+, -\}$. Понятием F^σ и f^σ устанавливается степень противоречивости $\text{Str}_{x_1, y_1} \cup \text{Str}_{x_2, y_2}$. Если $F^\sigma \leq 0,2$ и $f^\sigma \leq 0,2$, то объединение Str_{x_1, y_1} и Str_{x_2, y_2} будем назы-

вать полукорректным. В этом случае допустимо удаление контрарных пар из $\text{Str}_{x_1.y_1} \cup \text{Str}_{x_2.y_2}$.

Такое удаление будем называть **безопасным**, если удаляемые пары гипотез не являются полезными.

$\text{Str}_{x_1.y_1} \cup \text{Str}_{x_2.y_2}$ будем называть **плодотворным**, если и только если оно является, по крайней мере, полукорректным и число полезных гипотез для этого объединения больше числа полезных гипотез, полученных в отдельности для $\text{Str}_{x_1.y_1}$ и $\text{Str}_{x_2.y_2}$. Очевидно, что наиболее ценным является плодотворное объединение непротиворечивых $\text{Str}_{x_1.y_1}$ и $\text{Str}_{x_2.y_2}$. Ценным также является плодотворное полукорректное объединение $\text{Str}_{x_1.y_1}$ и $\text{Str}_{x_2.y_2}$ такое, что оно безопасно (то есть, удалены только неполезные гипотезы).

Рассмотрим теперь случай сравнимых стратегий. Предварительно определим отношение частичного порядка \succcurlyeq на множестве стратегий $\overline{\text{Str}}$. В §2 был определен класс возможных стратегий для позитивных и негативных M -предикатов сходства для $\Gamma^+ = \{a^+, b^+, d_0^+, e^+\}$ и $\Gamma^- = \{a^-, b^-, e^-\}$, соответствующий элементарным стратегиям ДСМ-метода (Df.3 в [27]).

Пусть $x \subseteq \Gamma^+$ и $y \subseteq \Gamma^-$, то есть $x \in 2^{\Gamma^+}$ и $y \in 2^{\Gamma^-}$ [27], тогда $M_{x_1}^+ \succcurlyeq M_{x_2}^+$, если $x_2 \subseteq x_1$, а $M_{y_1}^- \succcurlyeq M_{y_2}^-$, если $y_2 \subseteq y_1$. Определим частичный порядок на стратегиях из $\overline{\text{Str}}$:

$$\text{Str}_{x_1.y_1} \succcurlyeq \text{Str}_{x_2.y_2}, \text{ если } M_{x_1}^+ \succcurlyeq M_{x_2}^+ \text{ и } M_{y_1}^- \succcurlyeq M_{y_2}^-.$$

Заметим, что наименьшей стратегией является $\text{Str}_{a^+.a^-}$, образованная простыми методами сходства для (+)-и (-)-примеров.

$$\text{Str}_{x_1.y_1} \succ \text{Str}_{x_2.y_2}, \text{ если } x_2 \subset x_1 \text{ и } y_2 \subset y_1.$$

Пусть $\text{Str}_{x_1.y_1} \succ \text{Str}_{x_2.y_2}$, а h_1 и h_2 получены посредством $\text{Str}_{x_1.y_1}$ и $\text{Str}_{x_2.y_2}$, соответственно, и h_1 и h_2 не являются контрарными⁴². Тогда возможны следующие случаи ($v \in \{1, -1, 0\}$):

$$(1) h_1 = J_{\langle v.m_1 \rangle} (C \Rightarrow_j Q), h_2 = J_{\langle v.m_2 \rangle} (C \Rightarrow_j Q);$$

$$(2) h_1 = J_{\langle \tau.m_1 \rangle} (C \Rightarrow_j Q), h_2 = J_{\langle v.m_2 \rangle} (C \Rightarrow_j Q);$$

$$(3) h_1 = J_{\langle \tau.m_1 \rangle} (C \Rightarrow_j Q), h_2 = J_{\langle \tau.m_2 \rangle} (C \Rightarrow_j Q).$$

К стандартным свойствам операции объединения добавим следующее для (1) – (3): $h_i \in \text{Str}_{x_1.y_1} \cup \text{Str}_{x_2.y_2}$, что означает, что h_i есть результат сложной стратегии $\text{Str}_{x_1.y_1} \cup \text{Str}_{x_2.y_2}$. Для случаев (1), (2), (3) результатом объединения стратегий являются, соответственно, $h_1 = J_{\langle v.j \rangle} (C \Rightarrow_j Q)$, $h_2 = J_{\langle v.m_j \rangle} (C \Rightarrow_j Q)$, $h_i = J_{\langle \tau, \min(m_1, m_2) \rangle} (C \Rightarrow_j Q)$, где $j = 1, 2$, $i = 1, 2$, а $v \in \{1, -1, 0\}$. Аналогично для (1) – (3) определим пересечение $\text{Str}_{x_1.y_1}$ и $\text{Str}_{x_2.y_2}$: $h \in \text{Str}_{x_1.y_1} \cap \text{Str}_{x_2.y_2}$, где $h = J_{\langle v, \max(m_1, m_2) \rangle} (C \Rightarrow_j Q)$

⁴² Напомним, что $J_{\langle v.m_1 \rangle} (C \Rightarrow_j Q)$ и $J_{\langle \mu.m_2 \rangle} (C \Rightarrow_j Q)$ являются контрарной парой, если $v \neq \mu$, где $v, \mu \in \{1, -1, 0\}$, а $j = 1, 2$.

для (1), $h = J_{\langle \tau, m_1 \rangle} (C \Rightarrow_j Q)$ для (2), $h = J_{\langle \tau, \max(m_1, m_2) \rangle} (C \Rightarrow_j Q)$ для (3).

Операцию пересечения стратегий естественно определить для непротиворечивых стратегий. В случае же противоречивых стратегий сохраняется определение полукорректных стратегий, введенное выше⁴³.

Таким образом, множество КАТ $\overline{\mathfrak{S}}$ соответствует множеству стратегий $\overline{\text{Str}}$, а на $\overline{\text{Str}}$ определимы \cup и \cap : $\mathbf{S} = \langle \overline{\text{Str}}, \cap, \cup \rangle$, где в \mathbf{S} порождаются комбинации стратегий из $\overline{\text{Str}}$.

Пусть \mathbf{D} – диаграмма частичного порядка на $\overline{\text{Str}}$, $\text{Str}_{a^+.a^-}$ – наименьший элемент, $\text{Str}_{x_m.y_m}$ – максимальный элемент, а $\text{Str}_{a^+.a^-}, \dots, \text{Str}_{x_i.y_i}, \dots, \text{Str}_{x_m.y_m}$ – цепь: $\text{Str}_{a^+.a^-} \subset \dots \subset \text{Str}_{x_i.y_i} \subset \dots \subset \text{Str}_{x_m.y_m}$. Имеет место следующее определение:

Df. 11-3. Эмпирическую закономерность (ЭЗ или ЭТ) будем называть **максимально устойчивой**, если она выполняется для всех элементов цепи $\text{Str}_{a^+.a^-} \subset \dots \subset \text{Str}_{x_i.y_i} \subset \dots \subset \text{Str}_{x_m.y_m}$.

Очевидно, что распознавание максимально устойчивых закономерностей (МУ-ЭЗК) относительно последовательности вложенных баз фактов имеет большую сложность, но открытие объективных закономерностей не может быть простой процедурой.

Извлечение МУ-ЭЗК из последовательностей вложенных баз фактов является важной процедурой обнаружения knowledge discovery посредством ИС-ДСМ. Факт установления МУ-ЭЗК является еще одной важной характеристикой в оценке качества ДСМ-рассуждения, дополняющей ранее введенную шкалу оценок на третьем уровне характеристики ДСМ-рассуждений. Квалификация ДСМ-рассуждений как максимально устойчивых одновременно является их характеристикой и на первом уровне оценки их качества, которая переносится и на третий уровень.

$\text{Str}_{x,y}$ из \mathbf{S} может увеличивать полноту предсказаний посредством ДСМ-рассуждений (то есть, увеличивает $\mu(s)$), а обнаруженная МУ-ЭЗК улучшает качество предсказаний на всех трех уровнях.

Распознавание МУ-ЭЗК – важный аспект четвертой компоненты ДСМ-метода АПГ.

Регулирование улучшения качества оценок гипотез – средство контроля за ДСМ-рассуждением, включающим индукцию (п.п.в.-1). Следовательно, оценка качества результатов индукции невозможна без использования синтеза познавательных процедур в ДСМ-рассуждении, содержащих аналогию (п.п.в.-2) и абдукцию (принятие гипотез посредством метапредиката Ad для случаев (a) и (b) применения АКП^(σ)).

⁴³ Заметим, что объединение сравнимых стратегий не может быть противоречивыми.

ДСМ-метод АПГ реализует комплекс ДСМ-рассуждений для различных $\text{Str}_{x,y}$ из заданного множества $\overline{\text{Str}}^1$ и соответствующих им КАТ $\overline{\mathfrak{F}}_{x,y}$.

Df. 12-3. ДСМ рассуждение будем называть **максимально устойчивым** для заданного множества $\overline{\text{Str}}$ и фиксированного эффекта Q, если относительно Q обнаруживается максимально устойчивая закономерность

Df. 13-3. Эмпирическую тенденцию будем называть суперустойчивой, если она максимально устойчива и имеет место условия (15-3) и (16-3):

$$\begin{aligned} & \forall m \forall p \forall q ((m < p) \& (p < q)) \supset \\ & \supset ((F^\sigma(m, q) < F^\sigma(m, p)) \& (F^\sigma(m, p) \leq 0, 2)), \\ & \forall m \forall p \forall q ((m < p) \& (p < q)) \supset \\ & \supset ((f^\sigma(m, q) < f^\sigma(m, p)) \& (f^\sigma(m, p) \leq 0, 2)), \end{aligned}$$

где $\sigma \in \{+, -\}$.

ДСМ-рассуждения, обнаруживающие суперустойчивые ЭЗК, будем называть, соответственно, **суперустойчивыми**. Суперустойчивые ДСМ-рассуждения имеют характеристику на первом уровне оценки качества, а порожденные ими гипотезы имеют соответствующую оценку качества в шкале на третьем уровне оценки качества гипотез.

Дополнительным условием, усиливающим характеристику регулярности суперустойчивых ЭЗК является выполнимость условия $\forall p \forall q ((p < q) \supset (\mu_p(n_p) \leq \mu_q(n_q)))$, для всех или даже некоторых $\text{Str}_{x,y}$ из $\overline{\text{Str}}$.

Заметим, что оценка качества ДСМ-рассуждений и порожденных им гипотез существенным образом зависит от процедурной семантики PrSem^a , содержащей конструктивные определения основных и производных предикатов, функций $\rho^\sigma(s)$, $\mu(s)$ и функционалов f^σ и F^σ , где $\sigma \in \{+, -, 0\}$.

Идея Д.А. Бочвара о различении внутренних и внешних логических связей в трёхзначной логике V_3 , применяемой для анализа логических и семантических парадоксов [36], в ДСМ-методе АПГ преобразовалась в различение внутренних и внешних истинностных значений $\overline{v} = \langle v, n \rangle$, $\langle \tau, n \rangle$, где $n > 0$, типы истинностных значений $v \in \{1, -1, 0\}$, и $\overline{v} = \langle v, 0 \rangle$, $\langle \tau, 0 \rangle$ – множество истинностных значений, где $v \in \{1, -1\}$, соответственно.

Ранее было отмечено, что внешние истинностные значения $\langle v, 0 \rangle$ и их множество $\langle \tau, 0 \rangle$ имеют эпистемологический статус, отличный от статуса внутренних истинностных значений $\langle v, n \rangle$ и их множества $\langle \tau, n \rangle$, где $n > 0$.

$\langle 1, 0 \rangle$, $\langle -1, 0 \rangle$ и $\langle \tau, 0 \rangle$ являются оценками фактов, а, следовательно, их можно считать корреспондентскими истинностными значениями в отличие от $\langle 1, n \rangle$, $\langle -1, n \rangle$ и $\langle 0, n \rangle$, где $n > 0$, которые являются когерентными истинностными значениями в соответствии с когерентной концепцией истины (они порождены посредством п.п.в.-1 и п.п.в.-2).

¹ В данной статье рассмотрен лишь один вариант ДСМ-метода с элементарными предикатами M_x^+ и M_y^- [27]. Неэлементарные М-предикаты введены в [28].

В связи с эпистемологическим статусом $\langle 1, 0 \rangle$ и $\langle -1, 0 \rangle$ они могут быть обозначены посредством t и f : $t = \langle 1, 0 \rangle$, $f = \langle -1, 0 \rangle$, где t, f – истинностные значения двузначной логики – внешние истинностные значения.

Обозначим посредством $V_\infty = \{ \langle v, n \rangle \mid (v \in \{1, -1, 0\}) \& (n \in N^+) \} \cup \{ \langle \tau, n \rangle \mid ((\tau, n) = \{ \langle 1, n+1 \rangle, \langle -1, n+1 \rangle, \langle 0, n+1 \rangle \} \cup \langle \tau, n+1 \rangle) \& (n \in N^+) \}$ – множество внутренних истинностных значений, где N^+ – множество целых положительных чисел.

Определим предикат $X \Rightarrow_1 Y$ следующим образом:
 $\Rightarrow_1: 2^{U^{(1)}} \times 2^{U^{(2)}} \rightarrow V_\infty \cup \{t, f, \frac{1}{2}\}$, где $\frac{1}{2} = \langle \tau, 0 \rangle$.

Аналогично определяется предикат $V \Rightarrow_2 W$.

Обозначим посредством N – множество натуральных чисел, где $N = \{0\} \cup N^+$.

Определим предикаты $H_1^\sigma(X, Y, n)$ и $H_2^\sigma(V, W, n)$, где $\sigma \in \{+, -\}$:

$$H_1^+(X, Y, n) = J_{\langle 1, n \rangle}(X \Rightarrow_1 Y),$$

$$H_1^-(X, Y, n) = J_{\langle -1, n \rangle}(X \Rightarrow_1 Y),$$

$$H_2^+(V, W, n) = J_{\langle 1, n \rangle}(V \Rightarrow_2 W),$$

$$H_2^-(V, W, n) = J_{\langle -1, n \rangle}(V \Rightarrow_2 W).$$

Следовательно, имеем следующие отображения:

$$H_j^\sigma: 2^{U^{(1)}} \times 2^{U^{(2)}} \times N \rightarrow \{t, f\}, \text{ где } j = 1, 2, \text{ а } \sigma \in \{+, -\}.$$

Далее, определим $\overline{H}_1^\sigma(X, Y, n) = \bigvee_{j=1}^n H_1^\sigma(X, Y, j)$,

$$\overline{H}_2^\sigma(V, W, n) = \bigvee_{j=1}^n H_2^\sigma(V, W, j), \text{ где } \sigma \in \{+, -\}.$$

$\overline{H}_1^\sigma(X, Y, n)$ используем для определения предикатов $\tilde{M}_a^\sigma(V, W, k, n)$ – аналогов ранее введенных предикатов $\tilde{M}_{a,n}^\sigma(V, W, k)$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Ниже определим предикаты $\tilde{M}_a^+(V, W, k, n)$ и $M_a^+(V, W, n)$ – предикаты простого положительного сходства:

$$\begin{aligned} \tilde{M}_a^+(V, W, k, n) = & \exists Z_1 \dots \exists Z_k \exists U_1 \dots \exists U_k (\overline{H}_1^+(Z_1, U_1, n) \& \\ & \& \dots \& \overline{H}_1^+(Z_k, U_k, n) \& (Z_1 \cap \dots \cap Z_k = V) \& \\ & \& (V \neq \emptyset) \& \forall i \forall j ((i \neq j) \& (1 \leq i, j \leq k)) \rightarrow (Z_i \neq Z_j)) \& \\ & \& \forall X \forall Y ((\overline{H}_1^+(X, Y, n) \& (V \subset X)) \rightarrow ((W \subset Y) \& \\ & \& (W \neq \emptyset) \& (\bigvee_{i=1}^k (X = Z_i))) \& (k \geq 2)), \end{aligned}$$

$$M_a^+(V, W, n) = \exists k \tilde{M}_a^+(V, W, k, n).$$

Аналогично определим предикаты $\tilde{M}_a^-(V, W, k, n)$ и $M_a^-(V, W, n)$.

Индекс «a» является сокращением термина «agreement» (согласие), который использовал Д.С. Милль для Первого правила индуктивного вывода (метода сходства) [8].

Правила правдоподобного вывода для индукции (п.п.в.-1) $(I)^\sigma$, где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$, теперь формулиру-

ются посредством предикатов $\bar{H}_1^\sigma(X, Y, n)$ (для посылок) и $H_2^\sigma(V, W, n)$ (для следствий).

Приведем пример п.п.в.-1 $(I)_{a.a}^+$ для минимальной $\text{Str}_{a.a}$:

$$(I)_{a.a}^+ \frac{J_{(\tau,n)}(V \Rightarrow_2 W), M_a^+(V, W, n) \& \neg M_a^-(V, W, n)}{H_2^+(V, W, n+1)}.$$

Аналогично формулируются $(I)_{a.a}^-$ и $(I)_{a.a}^0$. $(I)_{a.a}^\tau$ имеет следующую формулировку:

$$(I)_{a.a}^\tau \frac{J_{(\tau,n)}(V \Rightarrow_2 W), \neg M_a^+(V, W, n) \& \neg M_a^-(V, W, n)}{J_{(\tau,n+1)}(V \Rightarrow_2 W)}.$$

Соответственно, определяются $(I)_{x,y}^\sigma$ для $\text{Str}_{x,y}$, где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$.

Используя новые обозначения, определим предикаты $\tilde{\Pi}_n^\sigma(V, W, k)$ и $\Pi_n^\sigma(V, W)$, где $\sigma \in \{+, -\}$. Для этого определим предикаты $H_1^0(X, Y, n)$ и $H_2^0(V, W, n)$. Определим также предикаты $\bar{H}_1^0(X, Y, n)$ и $\bar{H}_2^0(V, W, n)$:

$$H_1^0(X, Y, n) = J_{(0,n)}(X \Rightarrow_1 Y),$$

$$H_2^0(V, W, n) = J_{(0,n)}(V \Rightarrow_2 W),$$

$$\bar{H}_1^0(X, Y, n) = \bigvee_{j=1}^n H_1^0(X, Y, j),$$

$$\bar{H}_2^0(V, W, n) = \bigvee_{j=1}^n H_2^0(V, W, j).$$

$$\begin{aligned} \tilde{\Pi}_n^+(V, W, k) = \exists Y_1 \dots \exists Y_k ((\bigwedge_{i=1}^k \exists X_i (H_2^+(X_i, Y_i, n) \& \\ \& (X_i \subset V)) \& (\bigcup_{i=1}^k Y_i = W)) \& \forall U (((U \subseteq W) \& (U \neq \emptyset)) \rightarrow \\ \rightarrow \neg \exists Z ((\bar{H}_2^-(Z, U, n) \vee \bar{H}_2^0(Z, U, n)) \& (Z \subset V))). \end{aligned}$$

$$\Pi_n^+(V, W) = \exists k \tilde{\Pi}_n^+(V, W, k).$$

Аналогично определим $\tilde{\Pi}_n^-(V, W, k)$ и $\Pi_n^-(V, W)$.

Определим также предикаты $\Pi_n^0(V, W)$ и $\Pi_n^\tau(V, W)$:

$$\begin{aligned} \Pi_n^0(V, W) = \exists X_1 \exists Y_1 \exists X_2 \exists Y_2 (\bar{H}_2^+(X_1, Y_1, n) \& \\ \bar{H}_2^-(X_2, Y_2, n) \& (Y_1 \cap Y_2 \neq \emptyset) \& (X_1 \subset V) \& (X_2 \subset V) \& \\ (Y_1 \subseteq W) \& (Y_2 \subseteq W)) \vee \exists X \exists Y (\bar{H}_2^0(X, Y, n) \& \\ \& (X \subset V) \& (Y \subseteq W)), \end{aligned}$$

$$\Pi_n^\tau(V, W) = \neg(\Pi_n^+(V, W) \vee \Pi_n^-(V, W) \vee \Pi_n^0(V, W)).$$

Правила правдоподобного вывода по аналогии (п.п.в.-2) формулируются следующим образом:

$$(II)^\sigma \frac{J_{(\tau,n)}(V \Rightarrow_1 W), \Pi_n^\sigma(V, W)}{H_1^\sigma(V, W, n+1)},$$

где $\sigma \in \{+, -, 0\}$;

$$(II)^\tau \frac{J_{(\tau,n)}(V \Rightarrow_1 W), \Pi_n^\tau(V, W)}{J_{(\tau,n+1)}(V \Rightarrow_1 W)}.$$

Аксиомы каузальной полноты $\text{AKP}_*^{(\sigma)}$ представим теперь в следующей нотации:

$$\text{AKP}_*^{(+)} \forall X \forall Y \exists V (H_1^+(X, Y, 0) \rightarrow \exists n (H_2^+(V, Y, n) \& (V \subset X) \& (V \neq \emptyset))),$$

$$\text{AKP}_*^{(-)} \forall X \forall Y \exists V (H_1^-(X, Y, 0) \rightarrow \exists n (H_2^-(V, Y, n) \& (V \subset X) \& (V \neq \emptyset))),$$

Вернемся к рассмотрению эпистемологического статуса, введенных предикатов H_1^σ и H_2^σ . $H_1^+(X, Y, n) = J_{(1,n)}(X \Rightarrow_1 Y)$, $H_1^-(X, Y, n) = J_{(-1,n)}(X \Rightarrow_1 Y)$, а потому оба этих предиката являются средством для представления фактов согласно аристотелевской концепции истины – теории соответствия. В силу этого $\langle 1, 0 \rangle = t$ и $\langle -1, 0 \rangle = f$ являются корреспондентскими истинностными значениями. $H_1^\sigma(X, Y, 0)$ – выразительное средство для протокольных [24] высказываний ($\sigma \in \{+, -\}$). $H_2^\tau(V, W, 0) = J_{(\tau,0)}(V \Rightarrow_2 W)$ также используется для выражения протокольных высказываний о **неопределенности** отношения причинности, а $(\tau, 0) = \frac{1}{2}$.

Заметим, что $H_2^+(V, W, 0)$ и $H_2^-(V, W, 0)$ **не имеют смысла**, так как они определены для $H_2^\sigma(V, W, n)$ при $n > 0$ и имеют процедурную интерпретацию в Pr Sem посредством $[M_a^+(V, W, n)]$ и $[M_a^-(V, W, n)]$. В самом деле, в силу теоремы обратимости п.п.в.-1 имеем [9]:

$$\forall V \forall W (H_2^+(V, W, 2n-1) \leftrightarrow J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 W) \& [M_a^+(V, W, 2n-2)] \& \neg [M_a^-(V, W, 2n-2)]).$$

Аналогичное утверждение имеет место и для $H_2^\sigma(V, W, 2n-1)$, где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$.

Если сделать соответствующие изменения в представлении дополнительных условий для $\text{Str}_{x,y}$, то процедурная интерпретация может быть применена и для предикатов $M_x^+(V, W, 2n-2)$ и $M_y^-(V, W, 2n-2)$ для рассмотренных в §2 x и y.

§4. Эпистемологические основания ДСМ-метода АПГ и естественнонаучная проблема индукции

В §2 и §3 данной статьи фактически были сформулированы эпистемологические основания ДСМ-метода АПГ, из которых следует решение естественнонаучной проблемы индукции.

Естественнонаучная проблема индукции (отличная от философской, обсуждаемой в §1) состоит в следующем: **существуют ли правила индукции, входящие в рассуждения, применяемые к исходным данным, реализация которых порождает новое знание, не содержащееся в этих данных явно, причем эти рассуждения, во-первых, могут быть использованы для предсказания изучаемого эффекта; во-вторых результаты этих рассуждений (включающих индукцию) должны контролироваться точно определяемыми условиями и получают оценку их качества; в-третьих, для этих рас-**

суждений могут быть сформулированы средства фальсификации порождаемых гипотез; в-четвертых, посредством этих рассуждений могут быть расширены исходные знания посредством обнаруженных эмпирических закономерностей.

Решение естественнонаучной проблемы индукции осуществляется посредством ДСМ-метода автоматического порождения гипотез, который был представлен в §2 и §3. Эпистемологические основания ДСМ-метода АПГ формулируются с помощью утверждений, приводимых ниже.

(ЭО-1). Применение ДСМ-метода АПГ, состоящего из шести компонент, предполагает различение трех типов предметных областей (классов моделей):

1⁰. предметных областей, состоящих из случайных событий;

2⁰. предметных областей, содержащих направленные влияния, **вынуждающие** наличие (отсутствие) рассматриваемых эффектов, что можно охарактеризовать как проявление отношений «причина-следствие»;

3⁰. предметных областей, характеризующихся условиями 1⁰ и 2⁰ одновременно.

Случаи 1⁰, 2⁰ и 3⁰ будем называть «мирами» W1, W2 и W3, соответственно.

(ЭО-2). Рассуждения, включающие правила индукции, адекватно применяются для «мира» W2, содержащего зависимости причинно-следственного типа, такого, что он содержит как позитивные факты ((+)- факты), так и негативные факты ((-)-факты), а также случаи неопределенности ((τ)-факты). Наличие (±)-фактов и зависимостей «причина-следствие» является одним из условий применимости ДСМ-метода АПГ.

(ЭО-3). ДСМ-метод формализует и имитирует познавательный цикл: «**анализ данных (индукция) – предсказание (аналогия) – объяснение (абдукция)**».

Таким образом, формализация индукции в ДСМ-методе АПГ осуществляется посредством правил правдоподобного вывода (п.п.в.-1), являющихся начальным шагом тактов – «индукция - аналогия», образующих синтез познавательных процедур (индукция + аналогия + абдукция).

(ЭО-4). Идеальными условиями применимости ДСМ-метода АПГ являются аксиомы каузальной полноты АКП^(σ), где $\sigma \in \{+, -\}$, и их выполнимость в базе фактов БФ₀. Более того, АКП^(σ) являются средством управления и контроля процессом ДСМ-рассуждения при реализации абдуктивной сходимости к порогу ρ^σ для функций объясняемости БФ₀ $\rho^\sigma(s)$. АКП^(σ) являются средством принятия гипотез, представляющим абдукцию, применение которой завершает познавательный цикл – «анализ данных – предсказание - объяснение».

Фактически, АКП^(σ) выражают принцип индукции для «миров» W2, содержащих причинно-следственные зависимости: всякий (σ)-факт из БФ₀ имеет объяснение посредством порожденных гипотез о (σ)-причинах на

заключительном такте ДСМ-рассуждений n_s , соответствующем последнему расширению БФ₀².

(ЭО-5). Необходимыми компонентами, обеспечивающими амплиативность правил п.п.в.-1, выражающих индукцию, являются условия (ЭУ), (СХ), (ЭЗ) с (УИ) и число примеров k , образующих $M_{x,n}^\sigma$ – предикаты (предикаты $H_1(X, Y, n)$ и $H_2(V, W, n)$ в новой нотации для п.п.в.-1 и п.п.в.-2).

Эти предикаты адекватны «миру» W2, содержащему зависимости причинно-следственного типа (ЭЗ), распознаваемые посредством установления сходства примеров (СХ) для экзистенциального условия (ЭУ).

(ЭО-6). Правила индуктивного вывода ДСМ-метода АПГ (п.п.в.-1) порождают гипотезы, выражающие, отношение причинности (для различных стратегий $Str_{x,y}$) такие, что предикат $H_2(V, W, n)$, соответствующий $V \Rightarrow_2 W$, представляет **функциональное отношение** (в данной статье функциональность отношения причинности была упомянута для первого шага ДСМ-рассуждения).³

Функциональность отношения причинности, порождаемого посредством п.п.в.-1 (правил вывода для индукции), является аргументом подтверждающим адекватность ДСМ-метода и правил вывода для индукции «миру» W2.

(ЭО-7). Правила вывода для индукции (п.п.в.-1) сформулированы так, что в них содержится возможность фальсификации кандидатов в (±)-гипотезы о причинах посредством предикатов $M_{x,n}^+$ и $M_{x,n}^-$, что соответствует «миру» W2, образованному (+) – и (-) – фактами.

(±)-гипотезы, порождаемые п.п.в.-2 (аналогией), реализующие предсказание изучаемых эффектов, имеют в качестве фальсификаторов гипотезы о причинах с истинностным значением $\langle 0, m \rangle$, где 0 – тип истинностного значения «фактическое противоречие».

Таким образом, фальсификация встроена в ДСМ-рассуждение.

(ЭО-8). Истинностные значения $\bar{v} = \langle v, m \rangle$ в ДСМ-рассуждениях, где $v \in \{1, -1, 0\}$, и множества истинностных значений (τ, m) порождаются посредством п.п.в.-1 (индукцией) и п.п.в.-2 (аналогией), имеющих конструктивную реализацию в процедурной семантике PrSem. Истинностные значения $\bar{v} = \langle v, 0 \rangle$ и множество истинностных значений $(\tau, 0)$ подчинены теории соответствия (аристотелевская теория истины). Истинностные значения $\bar{v} = \langle v, m \rangle$ и их множество (τ, m) , где $m \geq 1$, соответствуют теории когерентности (когерентная теория истины). Когерентность этих истинностных значений обусловлена тем, что они порождаются посредством п.п.в.-1 и п.п.в.-2, имеющих генераторы – предикаты

² АКП^(σ) являются точным аналогом «закона единообразия природы» Д.С. Милля – достаточного основания индукции [8].

³ М.А. Михеенкова предположила сохранение функциональности отношения причинности для любого шага, а М.И. Забейло доказал это утверждение в [60].

$M_{x,n}^+$, $M_{y,n}^-$, Π_n^+ , Π_n^- , Π_n^0 и Π_n^τ , которые используют множества Δ_{2i-1} и Ω_{2i} .

Таким образом, истинностные значения высказываний о фактах из Ω_0 и порождаемых гипотез имеют два эпистемологических статуса – **корреспондентский** ($m = 0$) и **когерентный** ($m > 0$).

(ЭО-9). П.п.в.-1 (индукция) и п.п.в.-2 (аналогия) являются правилами вывода открытых квазиаксиоматических теорий (КАТ), содержащих АКП^(σ). Результатом применения ДСМ-рассуждений с п.п.в.-1 и п.п.в.-2 является расширение КАТ посредством добавления гипотез к множеству фактов Ω_0 , а также посредством добавления эмпирических закономерностей (ЭЗК) к исходному множеству аксиом КАТ Σ_0 (эти ЭЗК могут быть как эмпирическими законами, так и эмпирическими тенденциями).

Пополнение КАТ посредством ЭЗК (knowledge discovery) и распознавание противоречивости расширений множеств гипотез в связи с обнаружением эмпирических тенденций с использованием функционалов f^σ и F^σ осуществляется благодаря синтезу познавательных процедур, формализующему и имитирующему познавательный цикл – «анализ данных – предсказание объяснение», адекватного «миру» W2.

(ЭО-10). ДСМ-рассуждения способны распознавать регулярности, содержащиеся в последовательностях вложенных баз фактов так, что порождаются эмпирические закономерности (эмпирические законы или тенденции); более того, ДСМ-рассуждение (на Этапе II) является **процессом, управляемым абдуктивной сходимостью к заданным порогам ρ^+ и ρ^-** .

(ЭО-11). ДСМ-рассуждение на Этапе II осуществляет принятие порожденных гипотез, что означает объяснение начального состояния базы фактов БФ₀, из которого следует обоснованность порожденных гипотез (как гипотез о причинах, так и гипотез - предсказаний). Абдуктивное принятие гипотез имеет два случая (a) и (b), где (a) реализуется в силу истинности АКП^(σ) ($\sigma \in \{+, -\}$), а (b) реализуется посредством абдуктивной сходимости к порогам $\rho^{(σ)}$ с последующим принятием тех и только тех гипотез, которые объясняют факты из БФ₀.

(ЭО-12). ДСМ-метод АПГ содержит не только средства принятия гипотез, но он обладает также средствами **оценки качества** порождаемых гипотез. Оценка качества гипотез осуществляется на трех уровнях, рассмотренных в §3.

На первом уровне характеризуется само ДСМ-рассуждение, реализуемое для последовательности вложенных баз фактов БФ₀, БФ₁, ..., БФ_s. На этом уровне устанавливается наличие (отсутствие) эмпирических закономерностей и их виды.

На втором уровне характеризуются четыре возможных типа порождаемых гипотез посредством распознавания их объясняющей силы и предсказательной силы с использованием процедурной семантики PrSem (оценка качества гипотез относится к *четвертой* компоненте ДСМ-метода АПГ – мета-теоретическом исследованию ДСМ-рассуждения и базы фактов).

На третьем уровне оценки качества порождаемых гипотез формируется шкала характеристики гипотез

о причинах с учетом используемых стратегий $\text{Str}_{x,y}$ из частично упорядоченного множества $\overline{\text{Str}}$.

(ЭО-13). Шестой компонентой ДСМ-метода АПГ являются интеллектуальные системы типа ДСМ (ИС-ДСМ). ИС-ДСМ имеют архитектуру, образованную базой фактов и базой знаний (она реализуется посредством КАТ), Решателем задач, имеющим три модуля (Рассуждатель, Вычислитель и Синтезатор), и комфортным (для пользователя) интерфейсом. Решатель задач реализует **синтез познавательных процедур** – «индукцию + аналогию + абдукцию», что соответствует познавательному циклу «анализ данных – предсказание – объяснение».

Это означает, что машина правдоподобного ДСМ-рассуждения включает индуктивную процедуру как свою начальную часть для анализа данных. Следовательно, в ДСМ-методе не существует **изолированной (автономной) индуктивной машины**.⁴

(ЭО-14). ДСМ-метод АПГ применяется для различных предметных областей при условии выполнимости условий его применимости (это первая компонента ДСМ-метода АПГ).

Опыт применения ДСМ-метода АПГ демонстрирует сохранение структуры и стратегий ДСМ-рассуждений при варьировании предметных областей и структур исходных данных.

ДСМ-метод имеет многочисленные применения в фармакологии (задача «структура химического соединения – биологическая активность»), в медицине (диагностика заболеваний и анализ клинических данных), в социологии (анализ социологических данных, предсказание электорального поведения, выяснение роли ситуации в поведении работников промышленных предприятий, выяснение готовности к забастовкам на промышленных предприятиях), в истории (атрибуция датировок исторических источников), в криминалистике (идентификация личности, распознавание пола по почерку).⁵ В настоящее время имеются первые применения ДСМ-метода АПГ для интеллектуализации роботов.

Применения ДСМ-метода АПГ представлены в [17] и [21] (Часть I, Глава 3. Интеллектуальные системы для анализа медицинских данных, стр. 89-124).

Из содержания ДСМ-метода АПГ, его эпистемологических оснований (ЭО-1) – (ЭО-14) и практики применения интеллектуальных систем следует аргументированное утверждение о решении **естественнонаучной проблемы индукции**. В самом деле,

(1) Сформулированы правила индуктивного вывода (п.п.в.-1), используемые в различных стратегиях $\text{Str}_{x,y}$, посредством которых извлекается новое знание из баз фактов ИС-ДСМ (эти правила являются амплиативными).

(2) Посредством ДСМ-рассуждений, включающих индукцию, осуществляются предсказания посредством аналогии (п.п.в.-2) и формируются обобщения исследуемых примеров.

⁴ Заметим, что К.Р. Поппер рассматривал автономную индуктивную машину.

⁵ В этих двух случаях имеется значительная модификация ДСМ-метода, так как предметной областью является «мир» 3.

(3) В ДСМ-методе реализуется **контроль** результатов правдоподобных выводов (индукции и аналогии) посредством оценки качества гипотез и абдуктивной сходимости, а также формализуется **принятие** гипотез посредством абдукции.

(4) В правилах правдоподобного вывода ДСМ-рассуждения встроена возможность фальсификации кандидатов в гипотезы.

(5) Посредством ДСМ-рассуждений расширяются квазиаксиоматические (открытые) теории, соответствующие базе знаний ИС-ДСМ, а это означает завершение knowledge discovery посредством ДСМ-рассуждений, содержащих индукцию, в результате применения интеллектуальных систем («машин правдоподобного вывода»).

(6) Новое знание, полученное применением ДСМ-метода АПГ в ИС-ДСМ, расширяет КАТ, а, следовательно, базы знаний, их представляющие. Порожденное знание состоит из гипотез о (\pm)-причинах, фальсификаторах с оценкой «фактическое противоречие» ((0)-гипотезы), предсказаний изучаемых эффектов, представимых посредством предиката $X \Rightarrow_1 Y$ (X обладает множеством свойств Y); а это новое знание может также содержать эмпирические закономерности (ЭЗК) – эмпирические законы или тенденции, определенные в §3.

ЭЗК являются информативным расширением КАТ, добавленным к исходному множеству аксиом Σ_0 . Обнаруженные ЭЗК выражают извлеченные закономерности из последовательности вложенных баз фактов. Эти ЭЗК являются **индуктивными обобщениями**, полученными посредством синтеза познавательных процедур – индукции, аналогии и абдукции (с возможным применением дедукции и распознаванием противоречивости).

(6) Порождение гипотез о (\pm)-причинах, а также фальсификаторов (гипотез с оценкой $\bar{V} = (0, m)$) является **формализацией и автоматизацией в ИС-ДСМ догадок**, которые получают оправдание посредством абдукции и уменьшения неопределенности исходного множества Ω_0^r (это означает возрастание функции степени предсказуемости $\mu(i)$)⁴⁹.

Замечание 1-4. Устойчивая регулярность обнаруженных ДСМ-методом ЭЗК распознается посредством установления монотонности возрастания степени предсказуемости $\mu(i)$, монотонности возрастания степени абдуктивности $\rho^\sigma(i)$ и антитонности убывания функционалов степени противоречивости f^σ и F^σ , где $\sigma \in \{+, -\}$, определенных в § 3.

Замечание 2-4. Анализ данных, порождение гипотез (предсказание) и попытки обоснования результатов эмпирических исследований являются необходимыми элементами эвристического поиска новых знаний в течение **всей истории естествознания** [10].

В сущности, ДСМ-метод АПГ является формализацией и автоматизацией посредством ИС-ДСМ эвристического поиска нового знания, соответствующего

познавательному циклу «анализ данных – предсказание – объяснение».

Новые цивилизационные условия, создавшие возможности компьютерного моделирования и обработки больших массивов данных, породили потребность автоматизации познавательных процедур, включающих индукцию, существование и полезность которой отрицают сторонники антииндуктивизма. Заметим при этом, что они рассматривают только **универсальные** теории и их оправдание повторением соответствующих наблюдений, которые предполагают индукцию через простое перечисление (изолированную и тривиальную познавательную процедуру). Это означает, что игнорируется рациональный анализ данных и порождение гипотез, которое может быть поддержано посредством алгоритмизации правдоподобных рассуждений, естественных при формировании открытых теорий.

Решение естественнонаучной проблемы индукции посредством ДСМ-метода и его экспериментальное оправдание в ИС-ДСМ для различных предметных областей является **демонстрацией неплодотворности** концепции антииндуктивизма, претендующего на универсальное решение проблемы индукции.

Антииндуктивизм игнорирует реальную практику научных исследований, с необходимостью включающих анализ данных и порождение гипотез. Он также отвергает существование правил правдоподобных выводов, применяемых при эвристическом поиске нового знания, который имитируется и автоматизируется в системах искусственного интеллекта.

ДСМ-метод АПГ и ИС-ДСМ демонстрируют полезность правдоподобных рассуждений (и в том числе индукции) для автоматизации и поддержки научных исследований, процессов управления и реализации когнитивных способностей роботов.

В [61] П.А. Флач и А.С. Какас рассматривают отношения между абдукцией и индуктивным обучением. В связи с этим они приводят различные понимания индукции и, в том числе, характеристику индукции как аргументации принимаемых утверждений, имеющих лишь частичную поддержку посредством посылок таких, что заключение может быть ложным. Аргументация такого типа в [62] называется индуктивной аргументацией.

Распространено также понимание индукции как получение следствия посредством рассмотрения примеров, которые являются посылками.

Сравнение различных процедур, применяемых в современных системах машинного обучения создает возможность охарактеризовать два вида индукции – **«плохую индукцию»** и **«хорошую индукцию»**.

«Плохая индукция» есть вывод заключения из множества примеров без установления типа предметной области («миров» 1, 2 и 3) и без формализации конструктивного порождения истинностных значений заключений. Очевидно, что индукция через простое перечисление является **«плохой»**.

Сформулируем теперь требования к **«хорошей индукции»**. Индукция является **«хорошей»**, если удовлетворяются следующие требования:

(1) Сформулированы правила **ампликативного** вывода заключений из посылок, конструктивно из-

⁴⁹ Заметим, что возможность и разумность формализации догадок отмечалось П. Бернайсом в [4] как актуальная проблема рационализма.

влекающие новое знание, неявно содержащееся в этиках посылках.

(2) Эти правила формализуют **сходство**, представленное в примерах, для соответствующих структур данных.

(3) Сформулировано **достаточное основание** для принятия порождаемых гипотез, которыми являются заключениями правил индукции. Эти достаточные основания являются контролем за принятием заключений индукции.⁵⁰

(4) Рассуждения, формализующие индукцию, должны содержать конструктивные средства обобщений, полученных в результате сравнения сходных примеров.

(5) Правила, формализующие индукцию, должны иметь встроенные условия фальсификации кандидатов в гипотезы.

(6) В случае применимости правил индукции к предметной области, соответствующей «миру» 2, должны быть формализованы средства оценки качества порождаемых гипотез.

(7) Истинностные значения порожденных гипотез, являющихся следствиями правил индукции, должны быть **истинными согласно теории когерентности**, но могут быть **ложными согласно теории соответствия**.

Из сформулированных эпистемологических оснований ДСМ-метода АПГ (ЭО-1) – (ЭО-14) следует, что индукция, формализованная посредством правил правдоподобного вывода (п.п.в.-1), является «хорошей индукцией», удовлетворяющей требованиям (1) – (7).

Замечание 3-4. В [63] представлены статьи, которые связаны с историей развития идей и методов индукции. Однако среди них отсутствует освещение роли Дж. Гершеля [7] и Д.С. Милля [8] в разработке правил индуктивного вывода и роли индуктивных рассуждений в методологии науки. В §1 настоящей статьи отмечалась важная роль Ф. Бэкона, Дж. Гершеля и Д.С. Милля, повлиявших на развитие индуктивных рассуждений и их применение в системах искусственного интеллекта.⁵¹

Замечание 4-4. В [64] Р. Карнап замечает, что только дедуктивный вывод является выводом заключения из посылок. В силу такой жесткой точки зрения правдоподобные выводы даже «хорошей» индукции не являются логическим выводом. Однако современный взгляд на предмет логики [20] расширяет её задачи, ибо утверждается, что формализация рассуждений является важной теоретической и практической областью логических исследований. Не случайно, что применение в системах искусственного интеллекта получила логика рассуждений, а не средства теории подтверждений и индуктивная вероятность Р. Карнапа [64].

Применимость ДСМ-метода АПГ в интеллектуальных системах является свидетельством того, что он способен извлекать новые знания из баз фактов,

используя и пополняя базы знаний интеллектуальных систем. Эта способность ДСМ-метода АПГ делает его эффективным средством машинного обучения, используемого для имитации и усиления познавательной деятельности.

— • —

Подведем итоги рассмотрения эпистемологических оснований ДСМ-метода АПГ, повторив некоторые основные утверждения этой статьи.

1. ДСМ-метод АПГ предполагает различение трех типов предметных областей – «миров» 1, 2 и 3. В настоящее время он применяется для «мира» 2, в котором существуют направленные влияния – позитивные и негативные, которые являются условиями вынуждения (детерминации) некоторых эффектов.

2. Познавательным циклом, соответствующим «миру» 2 является процесс «анализ данных – порождение гипотез (предсказание) – объяснение».

3. Этот познавательный цикл отображается формальными средствами ДСМ-рассуждений, которые реализуют синтез трех познавательных процедур – индукции (для анализа данных), аналогии (для предсказания изучаемого эффекта), абдукции (для принятия гипотез посредством объяснения начальной базы фактов).

4. Порожденные гипотезы о причинах посредством индукции и предсказания посредством аналогии расширяют квазиаксиоматическую теорию, представленную в базе знаний и базе фактов интеллектуальной системы (ИС-ДСМ).

5. Индукция, реализуемая посредством п.п.в.-1, является «хорошей» индукцией такой, что она является средством решения **естественнонаучной проблемы индукции**.

6. Процедуры индукции и аналогии, осуществляемые посредством процедурной семантики PrSem используются для порождения истинностных значений гипотез, имеющих эпистемологический статус когерентных истинностных значений.

7. В PrSem реализуется рекурсивная процедура порождения гипотез такая, что аргументами для порождения гипотез о (\pm)-причинах (посредством п.п.в.-1) являются (\pm)-примеры, представимые посредством предиката \Rightarrow_1 , а аргументами для порождения предсказаний по аналогии (посредством п.п.в.-2) являются гипотезы о (\pm)-причинах.

Этой рекурсивной процедуре соответствует четырехзначная логика аргументации, истинностными значениями которой являются типы истинностных значений 1, -1, 0 и τ ⁵².

8. Квазиаксиоматические теории, а, следовательно, базы знаний ИС-ДСМ расширяются посредством извлеченных из последовательностей вложенных баз фактов эмпирических закономерностей – эмпирических законов или эмпирических тенденций, выражающих устойчивые регулярности.

Порождение ЭЗК завершает knowledge discovery посредством ИС-ДСМ. Это обнаружение нового знания осуществляется не только в силу эвристики «ин-

⁵⁰ Необходимость контроля за принятием заключений посредством индукции сформулирована в [5]. В [5] также говорится о важности индукции для систем искусственного интеллекта.

⁵¹ Индуктивизм Ф. Бэкона представлен в [6]. Отметим также компьютерную систему анализа данных БЭКОН.

⁵² Расширением этой четырехзначной логики является семи-значная логика, учитывающая эпистемологические статусы истинностных значений – корреспондентский и когерентный

дукция – аналогия – абдукция», но также и в результате распознавания непротиворечивости множеств гипотез при расширении баз фактов.

9. «Миру» 2 в ИС-ДСМ соответствуют аксиомы каузальной полноты АКП⁽⁶⁾, где $\sigma \in \{+, -\}$. С помощью АКП⁽⁶⁾ в ДСМ-рассуждениях определяется абдукция как **средство принятия порожденных гипотез посредством объяснения**.

Заметим, что индукция, аналогия и абдукция в ДСМ-рассуждении являются **дефинитарными правилами** вывода в смысле Я. Хинтикки, а не стратегическими правилами [65].

Абдукция в ДСМ-методе АПГ используется для формализации познавательного цикла «анализ данных – предсказание – объяснение», который начинается с применения индукции к эмпирическим данным.

10. Оценка качества гипотез порождаемых ДСМ-методом АПГ в ИС-ДСМ, осуществляется на трех уровнях так, что при этом устанавливается их объясняющая сила и предсказательная сила относительно $B\Phi_0$ и Ω^T_0 , соответственно.

11. В [66] А.С. Есенин-Вольпин предложил разделение познавательного процесса на три этапа: творческий, контрольный и исполнительский⁵³. Этому разделению познавательного процесса в ДСМ-методе АПГ соответствует индукция и аналогия для творческого этапа, где автоматизируется порождение догадок, а абдукция и распознавание противоречивости множеств гипотез соответствуют контрольному этапу, и, наконец, проверка порожденных гипотез с последующей коррекцией базы знаний и КАТ соответствует исполнительскому этапу познания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поппер К.Р. Объективное знание. Эволюционный подход. Гл. 1. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – С. 12-39; Popper K. R. Objective Knowledge: An evolutionary approach. – Oxford: At The Clarendon Press, 1979.
2. Юм Д. Исследование о человеческом разуме. – М.: Прогресс, 1995. – С. 58.; Hume D. A. An Enquiry concerning Human Understanding. – London: A. Millar, 1748.
3. Юм Д. Трактат о человеческой природе. Кн. 1, Часть III, гл. 6.; Hume D.A. Treatise of Human Nature. John Noon, 1739.
4. Бернайс П. О рациональности. В кн.: Эволюционная эпистемология и логика социальных наук (Карл Поппер и его критики). – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – С. 154-162; Bernays Paul. Concerning Rationality // The Philosophy of Karl Popper / ed. by Schilpp P.A. The Library of living Philosophers, vol. 14, I. Open Court Publishing Co., La Salle, Illinois, 1974. – P. 597-605.
5. Gillies D. Artificial Intelligence and Scientific Method. – Oxford: University Press, 2008.
6. Бэкон Ф. Новый Органон. ОГИЗ-СОЦЭГИЗ. Ленинградское отделение, 1935; Bacon F. The

Novum Organon, or a True Guide to the Interpretation of Nature. – Oxford: Oxford University Press, 1855.

7. Гершель Дж. Философия естествознания. Издание второе. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011; Herschel J.F.W. Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy. – London, 1851.
8. Милль Д.С. Система логики силлогистической и индуктивной. Издание пятое. – М.: ЛЕНАНД, 2011; Mill J.S. A System of Logic Ratiocinative and Inductive, Being a Connected View of the Principles of Evidence and The Methods of Scientific Investigation. – London: Parker, Son and Bowin, 1843.
9. ДСМ-метод автоматического порождения гипотез: логические и эпистемологические основания / под общей ред. О.М. Аншакова. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009.
10. Whewell W. History of the Inductive Sciences. Vols. 1-3. – London, 1837; Уэвелл У. История индуктивных наук от древностей и до настоящего времени. В 3 т. – СПб.: Русская книжная торговля, 1867-1869.
11. Whewell W. Philosophy of the Inductive Sciences. Vols. 1-2. – London, 1840.
12. Лейкфельд П. Логическое учение об индукции. – СПб.: Русская книжная торговля, 1868.
13. Владиславлев М.И. Логика. – СПб., 1881. – Приложение, с. 223-233.
14. Пирс Ч.С. Как сделать наши идеи ясными. В кн.: Пирс Ч.С. Избранные произведения. – М.: ЛОГОС, 2000; Peirce C.S. How to make Our Ideas Clear // Popular Science Monthly. – Vol. 12. – P. 286-302.
15. Лахути Д.Г. Милль, Пирс и Поппер. О логике научного открытия // Вопросы философии. – 2012. – № 3. – С. 101-109.
16. Ajdukiewicz the Scientific world-perspective and other essays 1931-1963 // Synthese Library. – 1978. – Vol. 108, §3. The World-Picture and the Conceptual Apparatus. – P. 67-89. (Dordrecht-Holland, Boston, U.S.A.).
17. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009.
18. Финн В.К. Д.С. Милль и его идеи об индукции и «логике нравственных наук». В кн.: Д.С. Милль Система логики силлогистической и индуктивной. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – С. 7-14.
19. Финн В.К. Система логики силлогистической и индуктивной // Энциклопедия эпистемологии и философии науки. – М.: «Канон⁺», 2009. – С. 867-868.
20. ван. Бентем Й. Логика и рассуждения: много ли значат факты? // Вопросы философии. – 2011. – № 2. – С. 63-76; Van Benthem J. Logic and Reasoning: Do the Facts Matter? // Studiu Logica. – 2008. – Vol. 88, №1. – P.67-84.
21. Финн В.К. Искусственный интеллект: методология, применения, философия. Часть I, Часть III. – М.: КРАСАНД, 2011.

⁵³ см. также [67]

22. Nickerson R.S., Perkins D.N., Smith E.E. The teaching of thinking. Hillsdale. №7: Erlbaum, 1985.
23. Wertheimer M. Productive thinking. – New York: Harper and Bros, 1954.
24. Крафт В. Венский кружок. Возникновение неопозитивизма. Глава новейшей истории философии. – М.: Идея-Пресс, 2003; Kraft V. Der Wiener Kreis. Der Ursprung des Neopositivismus. Ein Kapitel der jungsten Philosophiegeschichte. – Wien: Springer - Verlag, 1950.
25. Fann K.T. Peirce's Theory of abduction // Martinus Nijhoff. – The Hague, 1970.
26. Aliseda A. Abductive Reasoning // Synthese Library. – 2006. – Vol. 330.
27. Финн В.К. Индуктивные методы Д.С. Милля в системах искусственного интеллекта. Часть I. // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 3. – С. 3-21; Finn V.K. J.S. Mill's Inductive Methods in Artificial Intelligence Systems, Part I // Scientific and Technical Information Processing. – 2011. – Vol. 38, № 6. – P. 385-402;
28. Финн В.К. Индуктивные методы Д.С. Милля в системах искусственного интеллекта. Часть II. // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 4. – С. 14-40; Finn V.K. J.S. Mill's Inductive Methods in Artificial Intelligence Systems. Part II // Scientific and Technical Information processing. – 2012. – Vol. 39, № 5. – P. 241-261.
29. Волкова А.Ю. Алгоритмизация процедур ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2011. – № 5. – С. 6-12; Volkova A.Y. Algorithmization Procedures of JSM Method for Automatic Hypothesis Generation // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2011. – Vol. 45, № 3. – P. 113-120.
30. Волкова А.Ю. Анализ данных различных предметных областей с помощью процедур ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2011. – № 6. – С. 9-18; Volkova A.Y. Analyzing the Data of Different Subject Fields Using the Procedures of JSM Method for Automatic Hypothesis Generation // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2011. – Vol. 45, № 3. – P. 127-139.
31. Финн В.К. Правдоподобные выводы и правдоподобные рассуждения. Итоги науки и техники. Т. 28, Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. – М., 1988. – С. 3-84; Finn V.K. The plausible inferences and the plausible reasonings // Journal of Soviet Mathematics. Plenum Publ. Co. – 1991. – Vol. 56, № 1.
32. Финн В.К. Об определении эмпирических закономерностей посредством ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 4. – С. 41-48; Finn V.K. On the Definition of Empirical Regularities by the JSM Method for the Automatic Generation of Hypotheses // Scientific and Technical Information Processing. – 2012. – Vol. 39, № 5. – P. 261-267.
33. Rosser J.B., Turquette A.R. Many-Valued Logics. – North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1958.
34. Барвайс Д. Введение в логику первого порядка. Справочная книга по математической логике. Часть I. Теория моделей. – М.: Наука, 1982. – С. 51-52; Handbook of mathematical logic / ed J. Barwise. – North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 1977.
35. Финн В.К. Индуктивный метод соединенного сходства-различия и процедурная семантика ДСМ-метода // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2010. – № 4. – С.1-17; Finn V.K. Inductive Method of Joint Agreement-Difference and Procedural Semantics of the JSM Method // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2010. – Vol. 44, № 2. – P. 68-88.
36. Бочвар Д.А. Об одном трехзначном исчислении и его применении к анализу парадоксов классического расширенного функционального исчисления // Математический сборник. – Т. 4, Выпуск 2, 1938. – С. 287-308.
37. Финн В.К. О суперстратегиях интеллектуальных систем типа ДСМ для evidence based medicine // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2011. – № 11. – С. 2-9; Finn V.K. On Super Strategies of Intelligent Systems of the JSM Type for Evidence-Based Medicine // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2011. – Vol. 45, № 6. – P. 267-277.
38. Пирс Ч.С. Рассуждения и логика вещей. – М.: РГГУ, 2005; Peirce C.S. Reasoning and the Logic of Things // The Cambridge conferences Lectures of 1898. – Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, 1992.
39. Burks A.W. Peirce's theory of abduction // Philosophy of Science. – 1946. – Vol. 13, № 4. – P. 301-306.
40. Fann K.T. Peirce's theory of abduction // Martinus Nijhoff. – The Hague, 1970. – P.7.
41. Eisele C. Studies in the Scientific and Mathematical Philosophy of Charles S. Peirce // Essays by Carolyn Eisele. – The Hague-Paris-New York: Mouton Publishers 1979.
42. Kapitan T. Peirce and the Autonomy of Abductive Reasoning // Erkenntnis. – 1992. – Vol. 37.
43. Paul G. AI Approaches to Abduction // Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems / eds. D.M. Gabbay, P. Smets. – Vol. 4. Abductive Reasoning and Uncertainty Management Systems. – Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
44. Peirce C.S. Collected papers, vol.5. – Harvard University Press, Cambridge, MA, 1934. – P. 189.

45. Abductive Inference: Computation, Philosophy, Technology / eds. J.R. Josephson, S.G. Josephson. – Cambridge: University Press, 1994.
46. Аншаков О.М. Каузальные модели предметных областей // Научно-техническая информация. Сер.2. – 2000. – № 3. – С. 45-53.
47. Финн В.К. Синтез познавательных процедур и проблема индукции // Научно-техническая информация. Сер.2. – 1999. – № 1-2. – С. 8-454; Finn V.K. The Synthesis of Cognitive Procedures and the Problem of induction // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2009. – Vol. 43, № 3. – P.149-195.
48. Гемпель К.Г. Логика объяснения. – М.: Дом интеллектуальной книги, 1998. –С. 89-146; Hempel C.G., Oppenheim P. The Logic of Explanation // Philosophy of science. – 1948. – № 15. – P. 130-175.
49. Гаек П., Гавранек Т. Автоматическое образование гипотез. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984; Hájek P., Havráněk T. Mechanizing Hypothesis Formation. Mathematical Foundations for a General Theory. – Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 1978.
50. Prakken H., Vreeswijk G. Logics for defeasible argumentation // Handbook of Philosophical Logic. Vol. 4. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht etc., 2001.
51. Anshakov O., Gergely T. Cognitive Reasoning. A Formal Approach. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2010.
52. Bolc L., Borowik P. Many-Valued Logics. Vol. 1. Theoretical Foundations. – Springer-Verlag, 1992.– P. 123–142.
53. Клини С.К. Введение в метаматематику. – М.: ИЛ, 1957; Глава XII, § 64. 3-значная логика. – С. 296-303; Kleene S.C. Introduction to Mathematics. – D. Van Nostrand Company, Inc. New York – Toronto, 1952.
- 53а. Забежайло М.И., Ивашко В.Г., Кузнецов С.О., Михеенкова М.А., Хазановский К.П., Аншаков О.М. Алгоритмические и программные средства ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // Научно-техническая информация. Сер.2. – 1987. – № 10. – С. 1-14.
54. Anshakov O.M., Finn V.K., Skvortsov D.P. On axiomatization of many-valued logics associated with formalization of plausible reasoning // Studia Logica. – 1989. – Vol. XLVIII, № 4. – P. 423–447.
55. Zeeman E.C. The topology of the brain and visual perception // In: Fort M.K. Topology of 3-manifolds, 1962.
56. Шрейдер Ю.А. Равенство, сходство, порядок. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1971.
57. De Bouvére K.L. A Method in Proofs of Undefinability. – Amsterdam: North-Holland Publ., Co., 1950.
58. Bridgman P.W. The Logic of Modern Physics. – N.Y., 1927.
59. Bridgman P.W. The Nature of Some our Physical Concepts. – N.Y., 1952.
60. Забежайло М.И. О функциональности отношения причинности в ДСМ-рассуждениях // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2013. – № 7. – С. 33-38.
61. Flach P.A., Kakas A. On the Relation between Abduction and Inductive Learning // In: Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems, Vol. 4, Abductive Reasoning and Learning / eds. Dov Gabbay, Rudolf Kruse. – Kluwer Academic Publishers, 2000. – P. 1-33.
62. Salmon M.H. Introduction to Logic and Critical Thinking. – Harcourt, Brace, Jovanovich, 1984.
63. Handbook of History of Logic, Vol. 10, Inductive Logic / eds. by Dov Gabbay, S. Hartmann, J. Woods. Elsevier. – Amsterdam. Boston. Heidelberg. London. New York, 2011.
64. Carnap R. Logical Foundation of Probability. – London: Routledge&Kegan Paul, 1950.
65. Hintikka J. What is Abduction? The Fundamental Problem of Contemporary Epistemology // Transactions of the Charles S. Peirce society. – 1998. – Vol. XXXIV, № 3. – P. 503-533.
66. Есенин-Вольпин А.С. Об антитрадиционной (ультраинтуиционистской) программе оснований математики и естественнонаучном мышлении // Вопросы философии. – 1996. – № 8. – С. 100-136.
67. Финн В.К. Неологицизм – философия обоснованного знания // Там же. – С. 89-99.

Материал поступил в редакцию 30.07.13

Сведения об авторе

ФИНН Виктор Константинович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, зав. сектором интеллектуальных информационных систем ВИНТИ РАН, зав. Отделением интеллектуальных систем в гуманитарной сфере РГГУ, Москва.
e-mail: finn@viniti.ru

Быстрый поиск точных химических структур в больших базах данных с использованием InChI Key кодировки структур*

Разработана программа, реализующая рациональный поиск химической структурной информации с учетом стереохимических особенностей. Для кодировки химических структур применяется рекомендованная IUPAC технология InChI Key. Предложен алгоритм сжатия InChI Key, при этом база данных из 100 млн структур требует 1.5G ОЗУ. Для InChI Key определена метрика, при поиске по точной структуре предлагается использовать алгоритм бисекций. Полученные Web-приложения апробированы в ВИНТИ РАН.

Ключевые слова: химическая информация, стереохимия, интернет-технологии, программное обеспечение, кодирование информации, алгоритм поиска, информационный поиск, База структурных данных

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития химических баз данных характеризуются стремительным ростом числа записей в базах данных. В настоящее время их число достигает нескольких десятков миллионов. Например, PubChem содержит 100 млн записей вместе с дубликатами [1], база данных Chemical Abstracts Service (CAS) содержит 50 млн записей [2], База структурных данных по химии ВИНТИ РАН – более 6 млн химических структур, 3 млн химических реакций и 15 млн свойств химических соединений [3].

Как правило, ко всем химическим базам данных имеется доступ через Интернет, при этом коммерциализация предоставления химической информации из специализированных баз данных растет. В значительной степени точный и оперативный поиск химической информации затрудняют специфика и сложность объектов поиска – стереохимические структуры, комбинированные структуры, комплексные соединения и пр. Эти обстоятельства требуют разработки специального программного обеспечения и дружественного интерфейса пользователя в режиме телеступа.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ InChI Key КОДИРОВКИ ХИМИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ БЫСТРОГО ПОИСКА В БОЛЬШИХ БАЗАХ ДАННЫХ

С математической точки зрения, химическая структура представляет собой окрашенный граф, который должен отражать ряд специфических свойств

таких, как ароматичность, таутомерия, альтернативные представления солей и комплексов металлов.

Для точного поиска необходимо провести нормализацию графического представления химических структур. Нормализация химических структур используется в различных приложениях, например, InChI [4, 5], SMILES [6, 7] и т.п. Однако в литературе отсутствуют подробные описания алгоритмов нормализации, кроме того, существующие алгоритмы не учитывают в полной мере такие особенности строения химических соединений, как таутомерия с дальним переносом водорода, кето-енольная таутомерия, таутомерия с участием атомов, отличных от водорода (например, линейная - циклическая в сахарах), а также особенности строения солей.

Правила нормализации графического представления химических структур включают:

1. Представление ионных структур в виде несвязанных фрагментов основания и кислоты (аммонийные соли) кроме тех, в которых положение заряда известно (четвертичные аммониевые основания).
2. Представление ионных структур в виде катиона и аниона для солей металлов.
3. Удаление соответствующих солевых частей для некоторых видов поиска, когда солевая часть не имеет значения.
4. Использование специального типа связи, например, ароматическая связь, на которую заменяются чередующиеся двойные и одинарные связи в молекуле.
5. Представление семиполярной связи (нитрогруппа с одинарной связью и зарядами между азотом и кислородом) как двойной.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 13-07-00488.

6. Заряды и метки в свободных радикалах при атомах, соседствующих с двойными связями (делокализованные), не привязываются к конкретным атомам и привязываются целиком к молекуле.

7. При наличии двух гетероатомов у одного атома углерода, один из которых связан двойной связью, а другой - одинарной и содержит подвижный атом водорода, одинарная и двойная связь замещается на новую связь типа одинарная/двойная (single/double). Это также используется в случае, если имеется один гетероатом с подвижным атомом водорода и двоексвязанный атом углерода (рис. 1).

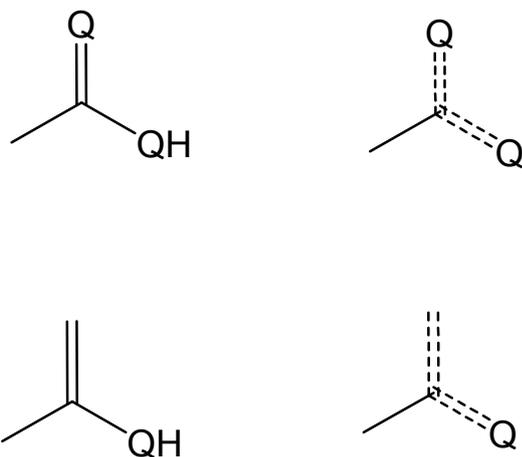


Рис. 1. Нормализация центра, содержащего двойную связь и гетероатом(ы)

8. Замена одинарной связи углерод-углерод на связь single/double, если рядом содержатся группы C=O, C=N. Такой подход позволяет учесть кето-енольную таутомерию.

9. Удаление всех водородов, заданных в явном виде, а их количество оценивается по валентностям атомов.

10. Преобразование всех «суператомов», используемых для обозначения групп (Ph, Bz, TMSi), в набор физических атомов и связей. Для этого нами была создана библиотека часто встречающихся функциональных групп.

Правила 7-8 позволяют учесть простые таутомеры, связанные с миграцией атома водорода.

Описанные правила нормализации повторяются в перечисленном выше порядке до тех пор, пока в финальном графе больше не будет изменений. Повторная проверка соответствия необходима для однозначного генерирования нормализованных структур. Например, в 2-пиридиноне после учета правила 7 выполняется правило 4, и это приводит к ароматизации цикла. Проверка прекращается, когда не происходит никаких изменений в представлении структуры при анализе всех правил. Пример нормализации структуры для 4-амино-6-нитропиридин-2(1H)-она гидрохлорида показан на рис. 2.

Следующим этапом преобразования химической структуры для поиска по точной структуре является генерация канонических структур, т. е. изменение нумерации входящих в химическую структуру атомов и связей таким образом, чтобы при любой пер-

воначально заданной нумерации все время получалась бы одна и та же конечная их нумерация. Полученные канонические структуры можно идентифицировать путем простого сравнения атомов и связей с одинаковыми порядковыми номерами.

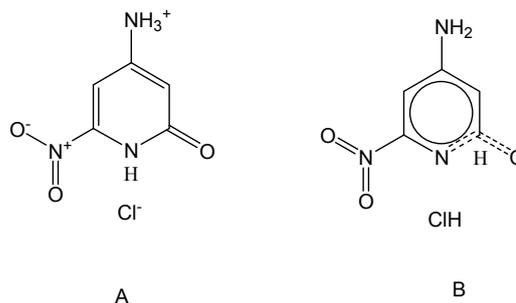


Рис. 2. Ненормализованная (А) и нормализованная гипотетическая (В) структуры 4-амино-6-нитропиридин-2(1H)-она гидрохлорида

Таким образом, процессы нормализации и генерации канонических структур являются относительно длительными, требующими большого количества машинного времени, и поэтому их необходимо проводить для каждого соединения при вводе информации о нем в базу данных. Альтернативой использованию канонических структур является математический аппарат теории графов, позволяющий сравнить два произвольных графа на совпадение. При этом время, требуемое на сравнение двух графов, растет экспоненциально с увеличением числа вершин в графах, и такого типа решения не подходят для поиска структур в базах данных большого объема.

Для нормализованной канонической структуры сравнение двух структур может быть достигнуто последовательным сравнением типов атомов и связей. Однако, хотя простота текстового сравнения достаточно эффективна, но, к сожалению, ее реализация связана с иницированным компьютерным временем. Поэтому оптимальным является представление химической структуры в виде линейной строки.

Наиболее распространены линейные кодировки химических структур по номенклатуре органических соединений IUPAC [8] или по названиям, принятым в CAS [2]. Поэтому широкое распространение получили машиночитаемые линейные нотации, например линейная нотация Виссвессера [9], SMILES [6,7], MCDL [10, 11], InChI [4, 5] и другие. Три последние линейные нотации являются каноническими, причем SMILES для создания канонической нотации использует InChI (OpenVabel-проект [12]).

Применяя любую каноническую линейную нотацию, достаточно сравнивать строки на совпадение, чтобы определить, являются ли химические структуры одинаковыми или нет. Эта операция быстрая, надежная и простая с точки зрения написания программного кода. Однако необходимо учитывать, что строка линейной нотации имеет различную длину для разных структур. Кроме этого, большие структуры требуют большей информации для их описания, и строки будут получаться длиннее. Причем, невозможно выбрать линейную нотацию максимального размера, а к остальным нотациям дописывать, например, пустые

символы, чтобы создать вымышленную химическую структуру с линейной нотацией большей длины. При этом надо иметь в виду, что потребление большого количества памяти является критичным при реализации поиска в больших базах данных.

Для организации эффективного поиска по точной химической структуре нами был ранее разработан двоичный хэш-код фиксированной длины [13, 14]. Этот 12-байтовый хэш-код имеет существенный недостаток: отсутствие возможности кодировки стереохимической информации.

Этот недостаток отсутствует в специальном линейном представлении структуры - так называемом InChI Key [15]. Последний представляет собой строку фиксированной длины, которая образуется в результате перекодировки строки InChI алгоритмом SHA-2 256 бит [16]. Код состоит из трех блоков, первый из которых содержит 14 символов, описывающих химическую структуру, второй содержит 9 символов, описывающих такую химическую информацию как стереохимия, изотопы, заряд, и третий блок – специфические особенности. Как и любой хэш-код фиксированной длины, InChI Key не является уникальным для каждой химической структуры, т. е. существует вероятность, что будет сгенерирован один и тот же хэш-код для различающихся химических структур. Такие примеры приводятся для второго блока (описывающего стереохимию) хэш-кода изомеров спонгистатина [17]. Однако вероятность такого совпадения крайне мала и расчеты показали, что вероятность совпадения в 50 % реализуется в базе данных размером $6,1 \cdot 10^9$ записей для блока матрицы связности и $3,7 \cdot 10^5$ для стереохимического блока [18]. Пример InChI Key для L-валина приведен на рис. 3.

Два последних символа второго блока (SA) не несут химическую информацию. Они являются признаком использования стандартного или нестандартного InChI-кода и номером его версии. Добавляется последний символ (N) – признак протонирования.

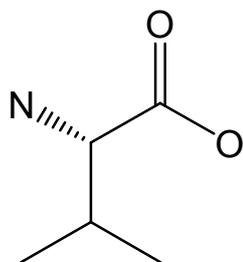
Таким образом формируется компактный код, позволяющий выполнять все команды в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) в тысячи раз быстрее, чем на жестком диске, что повышает оперативность сопоставления строк.

Дальнейшее ускорение операций сравнения достигается тем, что для идентификатора InChI Key можно использовать метрику – больше, меньше, равно. Это позволяет отсортировать строки по возрастанию. Вместо сравнения каждой строки с целевой

можно применять алгоритм бисекций [19]. Для n строк, отсортированных по возрастанию, берем строку с индексом $(n \div 2)$ и сравниваем с целевой. Если строка из массива больше целевой, то отбрасываем вторую половину массива и аналогичный поиск осуществляем для элементов от 1 до $(n \div 2)$ – т. е. берем строку с индексом $(n \div 4)$. Если строка из массива меньше целевой, то отбрасываем первую половину массива и уже ищем на интервале $(n \div 2)$ до n , т. е. следующая пробная строка будет иметь индекс $3 \cdot n \div 4$. Скорость сходимости данного алгоритма – 2^k , где k – число операций сравнения.

Максимальный размер химических баз данных на сегодняшний день – порядка 10^8 записей и для поиска в них потребуется максимально 27 операций сравнения. За 32 операции сравнения можно находить нужную химическую структуру в базе данных размером $4 \cdot 10^9$ записей, что намного превышает число зарегистрированных химических соединений, и в обозримом будущем не предвидится превышения этого значения. Таким образом, задавшись 32 операциями сравнения можно утверждать, что скорость поиска не будет зависеть от размера базы.

При работе с большими базами становится критичным размещение данных в ОЗУ компьютера. Для оптимального использования объема памяти нами предложен способ хранения InChI Key. А именно для представления InChI Key используется строка, содержащая только заглавные латинские буквы от A до Z. Для представления 26 заглавных букв достаточно 5 бит из байта (ими можно представить 32 буквы), 3 бита остаются свободными. Таким образом, для представления первого блока InChI Key длиной 14 символов необходимо 70 бит или 9 байт длиной (округление в большую сторону). Аналогично, для представления второго блока из 9 символов необходимо 45 бит или переменная 6 байт длиной. Таким образом, для хранения химической структуры, включая стереоинформацию, потребуется 15 байт. В то время как для хранения InChI-строки в формате, рекомендуемом IUPAC, требуется 23 байта, в предлагаемом формате – на 8 байт меньше. И суммарно для хранения всех кодов базы данных с 10^8 записями (100 млн записей с дубликатами содержит база данных PubChem [1]) потребуется 1,5G ОЗУ, что является вполне разумным значением даже для 32-битовых приложений, для работы которых Windows выделяет 2G ОЗУ.



KZSNJWFQEVHDMF-BYPYZUCNSA-N

Рис. 3. InChI Key для L-валина

Однако, поскольку в будущем планируется реализация поиска не только по точной структуре, но и по фрагменту структуры, то WEB-серверное приложение необходимо реализовывать на 64-разрядной платформе, так как размер данных с индексами для быстрого поиска по фрагменту структуры в больших базах превосходит 2G ОЗУ, которые выделяются в 32-разрядных приложениях. В качестве языка программирования был выбран Delphi XE3. Выбор языка программирования был обусловлен значительным количеством наработок, имеющихся в нашем распоряжении, и возможностью компиляции кода для 64-разрядных приложений. Microsoft поддерживает как стандартную ASP (Active Server Pages) технологию (classic), так и ASP.NET-технологию для разработки WEB-серверных приложений под управлением Microsoft Internet Information Server (IIS) [20]. Кроме того, ASP-технология обеспечивает гибкость в создании HTML-страниц за счет включения кода VB Script в текст HTML-документа, причем этот код выполняется на сервере. Аналог на языке Java - JSP (Java Server Pages) [21] является более гибким, так как серверное приложение может быть размещено на любой платформе. Однако реализуемый в будущем поиск по фрагменту структуры потребует огромного количества вычислений при решении задачи вложения подграфа в граф. Для эффективного решения этой задачи потребуется прямое выполнение процессорных команд, в то время как все Java-приложения работают с процессором через Java-машину.

База структурных данных по химии ВИНТИ РАН (далее База СД) является базой реляционного

типа и включает три основных таблицы – Compound, CompoundData и Term. Поля и связи между ними приведены на рис. 4.

Таблицы Compound и CompoundData имеют связи 1:1 – т.е. каждой записи в таблице Compound соответствует единственная запись в CompoundData и наоборот (см. рис. 4). Данные связываются по полю CompoundID. Помимо InChI Key (поле InChIKey) и матрицы связности с координатами атомов (поле Structure) таблица Compound содержит поля для работы и поиска по молекулярной формуле. Таблица CompoundData содержит название соединения и номер реферата. Номер реферата используется для связи с реферативной базой данных ВИНТИ РАН.

Таблицы CompoundData и Term имеют связь “один-ко-многим” – для одного соединения в реферате может существовать несколько термов. Термы представляют собой зашифрованный заглавными буквами латинского алфавита по иерархическому принципу список различных сведений о химическом соединении: способ его получения, физические, химические и биологические свойства, его реакции, применение и т.д. Например:

- AAA – Температура плавления
- BAA – Синтез
- HCAA – Спектр ПМР
- NB – Энзимология
- NFD – Психофармакологическое вещество
- NJQ – Противовирусное вещество
- NJ – Антипаразитарное вещество
- NJP – Токсикология
- OD – Применение в фармацевтической химии.

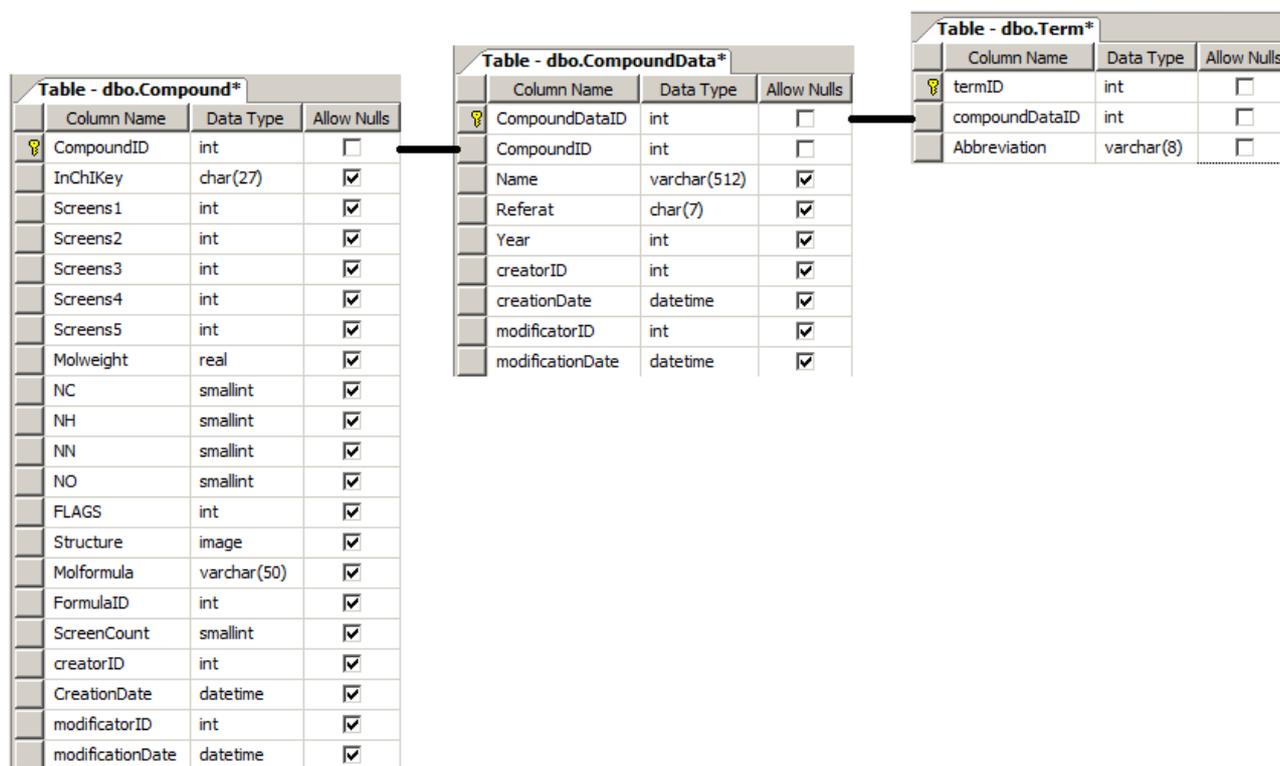


Рис. 4. Фрагмент Базы структурных данных по химии ВИНТИ РАН

InChIKey-поле в таблице Compound не является уникальным, т.е. допускается возможность задания одинаковых химических структур. Это сделано для того, чтобы сохранить все возможные варианты изображения химической структуры. В будущем подразумевается создание регистрационной системы химических структур и предполагается, что в новых таблицах будут храниться ссылки на оптимальные изображения химических структур.

Существует еще одна таблица – TermGlossary, где приводится расшифровка термов, ее структура показана на рис. 5.

Table - dbo.TermGlossary		
Column Name	Data Type	Allow Nulls
Abbreviation	varchar(8)	<input type="checkbox"/>
Description	varchar(255)	<input type="checkbox"/>

Рис. 5. Фрагмент таблицы TermGlossary

Приведенные таблицы (см. рис. 4 и 5) предполагают дальнейшее расширение с целью хранения дополнительных данных, например, фильтров для поиска по фрагменту структур.

Для добавления данных нами разработана хранимая процедура AddStructure, принимающая химическую структуру на входе в систему в виде текста формата Molfile [22] и сохраняющая матрицу связности, InChI Key и данные для поиска молекулярной формулы. Для расчета InChI Key и молекулярной формулы нами была создана COM dll, вызываемая из хранимой процедуры MS SQL-сервера. После добавления записи AddStructure возвращает ее идентификатор CompoundID, используемый для вставки данных в таблицу CompoundData.

Добавления химических структур осуществлялись из SD-файлов, генерируемых программным комплексом CBASE32 [23] из данных, введенных в Базу СД. Созданная отдельная программа позволяет импортировать данные из SD-файла в MS SQL-сервер. В программе используется описанная выше хранимая процедура AddStructure. Добавление данных в таблицу CompoundData осуществляется SQL-оператором INSERT. В настоящий момент для поиска доступны 766326 записей – данные, собранные в ВИНТИ РАН за период с 2009 г. по настоящее время.

Рис. 6. Пример поискового запроса к Базе структурных данных по химии ВИНТИ РАН. Запрос генерирует отклик, в котором имеется информация о рефератах, название, предметные характеристики и изображение найденных соединений (рис. 7).

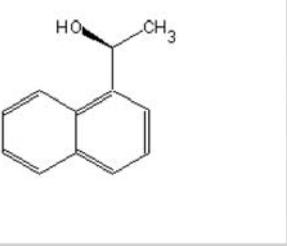
http://86.62.110.82/viniti/navigate.asp?DMID=49881200 - Windows Internet Explorer

http://86.62.110.82/viniti/navigate.asp?DMID=49881200

http://86.62.110.82/viniti/navigate.asp?DMID=4988...

Результат поиска по химической структуре в базе данных ВИНТИ.

Запрос - InChI key: CDRQOYRPWJULJN-UHFFFAOYSA-N Поиск по точной структуре, стереоконфигурация не учитывается.

Структура	Название	Реферат(ы)	Предметная информация
		21X0305 (2010)	
		02X0660 (2012)	
		05X0442 (2013)	
		07X0892 (2011)	
		03X0595 (2010)	Синтез
		13X0728 (2010)	Синтез
		20X0036 (2010)	
		11X1123 (2011)	
		08X0529 (2010)	Синтез, Хроматография
	(1S)-1-	07X0892 (2011)	
	(Нафталин-	07X0552 (2011)	
	1-ил)	04X0714 (2010)	Синтез
	этанол	09X0181 (2010)	Синтез, Стереохимия
		07X0552 (2011)	
		05X0442 (2013)	
		08X0898 (2010)	Синтез
		03X0262 (2011)	
	07X0892 (2011)		
	05X0199 (2013)		

Done

Internet | Protected Mode: Off

100%

Рис. 7. Представление результатов поиска химических структур
Примечание: номера рефератов, приведенные на рис. 7, условные.

Для быстрого поиска в момент старта ASP COM dll в память компьютера осуществляется загрузка данных, хранимых в поле InChI Key. При загрузке данных InChI происходит сжатие строк, как это было описано выше, с целью экономии места в ОЗУ. Далее осуществляется сортировка двоичных InChI Key-строк. Скорость поиска строки загруженного в память массива примерно на порядок быстрее, чем оператором SELECT в MS SQL сервере. В отличие от традиционного CGI WEB-серверного приложения, ASP COM dll не выгружается из памяти компьютера после формирования отклика клиенту, и это позволяет применять ASP-технологии. При таком подходе нельзя редактировать записи на MS SQL-сервере во время работы ASP COM dll – изменения не будут отражаться в результатах поиска. Данные добавляются порциями описанной выше программой, и это позволяет выполнять обновление данных периодически, когда остановлен IIS. Впрочем, предусмотрен традиционный для SQL-технологии вариант поиска данных командой SELECT.

Поиск по точной структуре возможно осуществлять как с учетом стереохимической информации и заряда на атомах химических элементов, так и без них. При поиске химических структур без стереохимической информации сравниваются первые 14 символов InChI Key, а при наличии стереохимической информации сравниваются целиком строки InChI Key.

Реализация пользовательского интерфейса клиентской части включает Java JME-редактор структур,

который любезно предоставил нам Peter Ertl [24], поскольку JME-редактор является удобным и универсальным средством ввода химических структур и реакций для поиска в Интернете. Страница задания запроса показана на рис. 6.

Таким образом, применение технологии InChI Key позволило реализовать поиск по точной химической структуре в Базе СД по химии ВИНТИ РАН. Сжатие строки InChI Key позволяет загрузить в память компьютера целиком базы объемом порядка 10^7 записей. Используемый алгоритм бисекций дает возможность выполнить поиск структуры за 23 операции сравнения переменных длиной 15 байт в базе объемом 10^7 записей, что гарантирует мгновенный отклик пользователю. Доступ к созданной базе данных осуществляется через ресурс <http://86.62.110.82/viniti>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотрены основные этапы обработки структурной химической информации для размещения, хранения и поиска в больших базах данных: нормализация, генерация канонических структур, линейная кодировка канонических структур.

2. Разработанные алгоритмы обработки структурной химической информации позволяют формировать компактный код химического соединения, учитывающий стереохимические и другие особенности его строения, для реализации быстрого поиска.

3. Программное обеспечение апробировано на Базе структурных данных по химии ВИНТИ РАН. Приведенные примеры оптимального и эффективного поиска химических структур подтверждают оригинальность алгоритма, который позволяет не только кодировать химическую структуру в переменную фиксированной длины, но и обеспечивать быстрый поиск по точной структуре, независимо от размера базы данных.

* * *

Авторы выражают благодарность сотрудникам ВИНТИ РАН Б.С. Фельдману, Н.И. Чураковой, М.А. Федоровской и сотруднику ИФАВ РАН А.В. Яркому за участие в работе и за помощь в проведении исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. The PubChem project. – URL: <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>
2. CAS, Chemical Abstracts Service Home Page. – URL: <http://www.cas.org/>
3. Каталог. Информационные издания, продукты и услуги. ФГУП ВИНТИ РАН. Второе полугодие 2013 г. – М.: ВИНТИ РАН, 2013. – С. 31.
4. Stein S. E., Heller S. R., Tchekhovskoi D. An Open Standard for Chemical Structure Representation: The IUPAC Chemical Identifier // Proceedings of the 2003 International Chemical Information Conference (Nimes). – Infonortics, 2003. – P. 131-143.
5. Heller S.R., McNaught A.D. The IUPAC International Chemical Identifier (InChI) // Chem. Int. – Jan '09. – P. 7.
6. Weininger D. SMILES a Chemical language and Information System. 1. Introduction to Methodology and Encoding Rules // J. Chem. Inf. Comput. Sci. – 1988. – Vol. 28. – P. 31-36
7. Weininger D., Weininger A., Weininger J.L. SMILES 2. Algorithm for Generation of Unique SMILES Notation // J. Chem. Inf. Comput. Sci. – 1989. – Vol. 29. – P. 97-101.
8. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Nomenclature of Organic Chemistry / eds. J. Rigaudy, S.P. Klesney. – Oxford, U.K.: Pergamon Press, 1979.
9. Smith E.G. Wisswesser-Line Formula Chemical Notation. – New York, McGraw-Hill. – 1968.
10. Trepalin S.V., Yarkov A. V., Pletnev I. V., Gakh A.A. A Java Chemical Structure Editor Supporting the Modular Chemical Descriptor Language (MCDL) // Molecules. – 2006. – Vol. 11. – P. 219-231.
11. Gakh A.A., Burnett M.N., Trepalin S.V., Yarkov A.V. Modular Chemical Descriptor Language (MCDL): Stereochemical modules // J. Cheminform. – 2011. – Vol. 3, № 1. – P. 131-143.
12. Open Babel. – URL: http://openbabel.org/wiki/Main_Page
13. Trepalin S.V., Skorenko A.V., Balakin K.V., Nasonov A.F., Lang S.A., Ivashchenko A.A., Savchuk N.P. Advanced Exact Structure Searching in Large Databases of Chemical Compounds // J. Chem. Inf. Comput. Sci. – 2003. – Vol. 43. – P. 852-860.
14. Trepalin S.V., Yarkov A.V. CheD – chemical database compilation tool, Internet server and client for SQL servers // J. Chem. Inf. Comput. Sci. – 2001. – Vol. 41. – P.100-107.
15. Pletnev I., Erin A., McNaught A., Blinov K., Tchekhovskoi D., Heller S. InChIKey collision resistance: An experimental testing // J. Cheminform. – 2012. – Vol. 4, № 1. – P. 39.
16. Secure Hash Standard (SHS) – URL: <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips180-4/fips-180-4.pdf>
17. InChI key collision. – URL: <http://www-jmg.ch.cam.ac.uk/data/inchi/>
18. InChI FAQ. – URL: http://www.inchi-trust.org/fileadmin/user_upload/html/inchifaq/inchi-faq.html
19. Burden Richard L., Faires J. Douglas. 2.1. The Bisection Algorithm. Numerical Analysis (3rd ed.). – PWS Publishers, 1985. ISBN 0-87150-857-5
20. Home: The Official Microsoft ASP.NET Site. – URL: <http://www.asp.net/>
21. Java Server Pages Technology. – URL: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/jsp/index.html>
22. Dalby A., Hourse J. G., Hounshell W. D., Gurchurst A. K. I., Grier D. L., Leland B. A., Laufer J. Description of several chemical structure file formats used by computer programs developed at Molecular Design Limited // J. Chem. Inf. Comput. Sci. – 1992. – V. 32. – P. 244-255.
23. Алфимов М.В., Авакян В.Г., Трепалин С.В., Воронезева Н.И., Чуракова Н.И. Универсальная программная оболочка для создания баз данных химических соединений и реакций // Доклады РАН. – 1999. – Т.366, № 5. – С.639-642.
24. JME Molecular Editor Applet. – URL: <http://www.molinspiration.com/jme/index.html>

Материал поступил в редакцию 28.06.13.

Сведения об авторах:

НЕФЕДОВ Олег Матвеевич – академик РАН, доктор химических наук, советник Президиума РАН, Москва
e-mail: onefedov@ras.ru

ТРЕПАЛИН Сергей Владимирович – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт физиологически активных веществ РАН
e-mail: trep@chemical-block.com

КОРОЛЕВА Любовь Михайловна – кандидат химических наук, зав. отделением научной информации по проблемам химии и наук о материалах ВИНТИ РАН
e-mail: lkorol@viniti.ru

БЕССОНОВ Юрий Ефимович – кандидат технических наук, зав. Отделом программного обеспечения и сопровождения информационных систем по химии ВИНТИ РАН
e-mail: bessonov-ye@rambler.ru

Указатель статей, опубликованных в сборнике «Научно-техническая информация», и Авторский указатель за 2013 год*

Указатель статей

**МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С
ИНОСТРАННЫМ УЧАСТИЕМ «МЕТОДИКА
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ
УНИВЕРСАЛЬНЫХ КЛАССИФИКАЦИЙ
НАУЧНОГО ЗНАНИЯ – УДК, ББК, ГРНТИ»
Москва, ВИНТИ РАН, ноябрь 2012 г.**

Антошкова О.А. Универсальная десятичная классификация для библиотечного и книжного дела	4 (1) 3
Смирнова О.В. Составление индексов УДК. Методика и практика	4 (1) 5
Астахова Т.С., Дмитриева Е.Ю., Сурикова Н.Г. Эталонный массив УДК на русском языке	4 (1) 7
Ивановский А.А. Применение УДК как основы лингвистического обеспечения сводного тематико-типологического плана комплектования ЦБС БЕН РАН: новые принципы	4 (1) 9
Сукиасян Э.Р. Проблемы классификационной практики. Ситуационный анализ организационных и технологических решений	4 (1) 12
Сухоруков М.К., Гребенникова А.А. Тематическая рубрикация электронных изданий средствами УДК: практика применения, проблемы и перспективы	4 (1) 15
Белоозеров В.Н., Шапкин А.В., Шабурова Н.Н. Табличное и тезаурусное сопоставление классификационных систем	4 (1) 18
Шабурова Н.Н. Проблемы систематизации библиотечных фондов академического института	4 (1) 21
Антопольский А.Б. Классификации информационных ресурсов	4 (1) 25
Старых В.А., Башмаков А.И. Классификация и каталогизация информационных ресурсов сферы образования	4 (1) 27
Белоозеров В.Н., Старых В.А. Онтология классов информационных ресурсов образования	4 (1) 31

Митрович Божидар. УДК: исследования истории славян до VI века	4 (1) 37
Антошкова О.А., Белоозеров В.Н., Дмитриева Е.Ю. Стандарты, используемые в информационной деятельности	4 (1) 38

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

Семенюк Э.П. Информационный подход и реалии современности	1 (1) 1
Двоеносова Г. А. Функции документа	2 (1) 1
Столяров Ю.Н. Онтология документа: дополнительные пояснения	2 (1) 8
Берестова Т.Ф. Свойства информации как потенциал ее иерархического функционирования и видового многообразия	3 (1) 1
Двоеносова Г.А. Статус документа	5 (1) 1
Лобанов А.С. Основные понятия квалиметрии	5 (1) 11
Полтавская Е.И. Информация: к уточнению понятия	5 (2) 1
Галявиева М.С. О становлении понятия «Информетрия» (Обзор)	6 (1) 1
Сюнтюренок О.В. Макропроблемы информационной безопасности человека и общества	6 (1) 11
Зацман И.М. Информационно-компьютерная наука: предпосылки становления	7 (1) 1
Штеренберг М.И. Исходные понятия энтропии, порядка, организации, информации, знания и смысла	7 (1) 13
Успенский В.А. В.К. Финн на фоне зарождения семиотики в ВИНТИ	7 (2) 2
Стародубов В.И., Куракова Н.Г., Цветкова Л.А., Арефьев П.Г., Еремченко О.А. Соответствие предметной структуры науки России приоритетам ее финансирования	8 (1) 1
Нестерович Ю.В. Предпосылки формирования терминосистемы документоведения (Обзор)	8 (1) 15

* 4 означает номер сборника, (1) – серию, 3 – страницу

Белоногов Г.Г., Гиляревский Р.С., Селетков С.Н., Хорошилов А.А. О путях повышения качества поиска текстовой информации в системе Интернет	8 (2) 1	Захарова О.С., Шогин А.Н., Старцева О.Б., Олейникова О.Л. Автоматизация верстки периодических реферативных изданий ВИНИТИ РАН в системе Adobe InDesign	5 (1) 31
Полтавская Е.И. Информация субъективная, социально-определенная и документ	8 (2) 12	Маркусова В.А., Аллахвердян А.Г. Факторы, влияющие на подготовку нового поколения	5 (1) 35
Плешкевич Е. А. Документальность как атрибутивное свойство документа	9 (1) 1	высококвалифицированных научных кадров в Европе и США: сравнительный анализ	
Финн В.К. Эпистемологические основания ДСМ-метода автоматического порождения гипотез. Часть I	9 (2) 1	Арутюнов В.В. О практике государственной аттестации студентов вуза по специальности «Организация и технология защиты информации»	6 (1) 15
Нестерович Ю.В. Базисная теоретическая схема информологии и экспликация понятия документальной информации (Обзор)	10 (1) 1	Ковалев А.И. Информационное обеспечение качества деятельности предприятия	6 (1) 21
Плешкевич Е. А. Философские проблемы идентификации документа как объекта познания	11 (1) 1	Мартиросян З.Г., Саркисян Д.Б. Применение интернет-технологий в учебном процессе	6 (1) 31
Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Серебряков В.А., Теймуразов К.Б. Технология научных публикаций в среде «открытых связанных данных»	12 (1) 1	Алешин И.М., Корягин В.Н., Сухорослов О.В., Холодков К.И., Шогин А.Н. Инверсия сейсмических данных: высокоуровневый веб-интерфейс к инструментарию Globus Toolkit	7 (1) 19
Финн В.К. Эпистемологические основания ДСМ-метода автоматического порождения гипотез. Часть II	12 (2) 1	Арутюнов В.В. СПАМ: прошлое, настоящее, будущее	8 (1) 24
ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ		Бапиева М.К., Чултурова Д.Ш., Кульевская Ю.Г., Улезько Г.Г. Мониторинг реализации научно-технических программ в Казахстане	9 (1) 8
Мельникова Е.В., Мельников О.А., Саркисян Д.Б. Система НТИ Великобритании: современное состояние и роль в инновационном развитии страны	1 (1) 12	Шемберко Л.В., Слива А.И., Денискин А.А. Информация по религиоведению в базах данных ИНИОН РАН по социальным и гуманитарным наукам: принципы обработки и выбор стратегии поиска	9 (1) 17
Харыбина Т.Н., Бескаравайная Е.В., Мохначева Ю.В., Слащева Н.А. Тенденции развития научных школ в Пушинском научном центре РАН	2 (1) 14	Раевская Е.Г. Особенности интеграции научных изданий некоторых стран исламского мира в международные базы данных	9 (1) 28
Орлова М.М. Стандартизация управления ИТ-услугами: исторический аспект	2 (1) 20	Лукашевич А.В., Лукашевич Н.Л., Семякина А.Н. Технология перекрестных ссылок в Реферативном журнале ВИНИТИ РАН	9 (1) 34
Егоров В.С. Особенности доступа к научной журнальной литературе в электронном обществе	3 (1) 8	Арутюнов В.В. О результативности научной деятельности в области приоритетных направлений развития науки, технологий и техники	10 (1) 12
Шогин А.Н., Алпатова М.Г., Журавлева И.П., Олейникова О.Л. Реализация словаря как инверсной структуры для информационно-поисковой системы в БнД ВИНИТИ РАН	3 (1) 19	Брежнева В.В., Гиляревский Р.С. О содержании учебной и научной дисциплины «Информационный менеджмент»	10 (1) 20
Арский Ю.М., Быков В.А. Деятельность ВИНИТИ РАН – Базовой организации государств – участников СНГ по межгосударственному обмену научно-технической информацией	5 (1) 23	Берёзкина Н.Ю., Сикорская О.Н., Хренова Г.С. Использование баз данных цитирования для оценки научной деятельности организаций Беларуси	10 (1) 25

Ковалев А.И. Логико-содержательное проектирование системы информационного обеспечения качества деятельности предприятия	11 (1) 10	Буйлова Н.М., Елецкий А.В., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А. Систематизация источников и данных по нанотехнологиям	11 (1) 31
Боровик М.А., Шемберко Л.В. Информационное обеспечение исследований по проблемам украиноведения на основе электронных ресурсов ИНИОН РАН	11 (1) 20	Ефременкова В.М. Системы классификации по нанонауке и нанотехнологиям (Обзор)	12 (1) 19
Василенко Е.А., Панфилов В.И., Жуков Д.Ю., Сивуха Д.В. Разработка наукометрической базы данных публикационной активности ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева	11 (1) 26	ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ	
Гуреев В.Н., Мазов Н.А. Анализ цитирования как основа для разработки дополнительного модуля в системах антиплагиата	12 (1) 12	Старичкова Ю.В. Структурная сложность орграфов: некоторые математические модели и их приложения	2 (2) 1
Веселовский А.В., Гальберг Т.В. Центр обработки цифровых данных в составе информационной системы академического института	12 (1) 16	Михеенкова М.А., Волкова А.Ю. Спецификация интеллектуальной системы типа ДСМ	7 (2) 5
ДОКУМЕНТАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ		Бетин В.Н., Супрун А.П. Ситуационные центры: методика грамматического обучения интеллектуальной аналитической системы	9 (2) 30
Московкин В.М. Построение университетских публикационно-терминологических структур с помощью поисковой машины Google Scholar: на примере экологических терминов и классических университетов Харькова и Скопье	1 (1) 26	Волкова А.Ю. Опыт создания интеллектуальной ДСМ-системы для исследования данных различных предметных областей	11 (2) 12
СТАВИНСКИЙ Е.Н., РОМАНОВА М.С., СИТНИКОВА И.С. Документальное обеспечение научно-исследовательских работ в академическом институте		ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	
Маркусова В.А., Крылова Т.А., Либкинд А.Н., Зиновьева Н.В., Миндели Л.Э. Библиографические показатели федеральных и национальных университетов России по БД Web of Science	2 (1) 24	Голицына О.Л., Максимов Н.В., Окропишина О.В., Строгонов В.И. Онтологический подход к идентификации информации в задачах документального поиска: практическое применение	3 (2) 1
Овченкова Е.А. Журналы по нанотехнологиям в системе научной периодики России	2 (1) 38	Соловьёв А. А., Пескова О. В. Об архитектурах программных систем вопросно-ответного поиска	10 (2) 1
Нестеров А.В. О востребованности публикаций исследователей	3 (1) 24	ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК	
Мдивани Р.Р. Тезаурусы ИНИОН РАН по социальным и гуманитарным наукам	7 (1) 23	Кузнецов Б.А. Опыт применения поисковой оболочки с автоматическим созданием терминологических комбинаций из текста запроса для поиска в реферативных массивах на примере БД «Медицина»	1 (2) 1
Штовба С.Д., Штовба Е.В. Индекс цитирования, учитывающий скрытую диффузию научных знаний	7 (1) 28	Ильвовский Д.А., Климушкин М. А. Выявление дубликатов объектов в прикладных онтологиях с помощью методов анализа формальных понятий	1 (2) 10
Егоров В.С. Научная книжная литература в электронном обществе	8 (1) 33	Ковалев И.В., Зеленков П.В., Распопин Н.А., Демиш А.В., Бахмарева К.К. Дискретная декомпозиция поискового запроса с учетом семантической связи структур данных	10 (2) 8
Гуреев В.Н., Мазов Н.А. Тематика публикаций организации как основа формирования объективного и оптимального репертуара научной периодики	10 (1) 30	Калафати Ю.Д., Козловский П.А., Старков С.О., Тельных А.А. Поиск «похожего» в графических базах	10 (2) 12

Нефедов О.М., Трепалин С.В., Королева Л.М., Бессонов Ю.Е. Быстрый поиск точных химических структур в больших базах данных с использованием InChI Key-кодировки структур	12 (2) 27	Вагин В.Н., Фомина М.В., Антипов С.Г. Моделирование алгоритмов индуктивного формирования понятий в «зашумленных» базах данных	7 (2) 20
--	-----------	--	----------

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЯЗЫКИ

Кирков А.Ю., Павловский В.Е. Акустический тональный язык коммуникации роботов	2 (2) 8	Гриняк В.М., Девятисильный А.С. Классификация движущихся объектов типа «надводный-воздушный» в лингвистических переменных	8 (2) 20
Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А. Контекстно-свободные грамматики искусственных языков	4 (2) 9	Яшков И.Б. Сравнение методов дискретизации и отбора непрерывных параметров для логико-комбинаторной классификации	8 (2) 26
Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А. Контекстно-зависимые грамматики искусственных языков	6 (2) 1	Осипов А.Л., Бобров Л.К. Прогнозирование свойств химических соединений на основе структурно-неаддитивных моделей с учетом парциальных вкладов структурных элементов	9 (2) 35
Грибова В.В., Клещев А.С. Онтологическая парадигма программирования	11 (2) 27	Волкова Г.А. Принципы семантического анализа предметной области при создании информационно-аналитических систем	10 (2) 19
Клышинский Э.С., Кочеткова Н.А., Логачева В.К. Метод кластеризации слов с использованием информации об их синтаксической связности	11 (2) 36	Бузмаков А.В. Узорные структуры для анализа сложных последовательностей	10 (2) 27

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Карпов А. А. Машинный синтез русской дактильной речи по тексту	1 (2) 20
Либкинд А.Н., Маркусова В.А., Либкинд И.А., Янц М. (Нидерланды), Иванов К.Н. Моделирование динамики процесса сохранения журналов в качестве наиболее авторитетных научных изданий	3 (2) 9
Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Тонерян М.С. Применение нечетко-гранулярного моделирования числовых временных рядов	3 (2) 35
Бауман К.Е., Корнетова А.Н., Топинский В.А., Хакимова Д.А. Оптимизация прогноза вероятности посещения контекстной рекламы в поисковой системе «Яндекс»	4 (2) 1
Рыжков О.Ю., Бобров Л.К. Формализованная запись нормативных документов для компьютерной обработки	5 (2) 7
Блинова В.Г., Решетникова В.В. База данных «ДСМ-эксперименты по фармакологии»	5 (2) 15
Ревенко А.В. Нахождение ошибок в бинарных таблицах данных	6 (2) 10
Логинов Е.Л. Информационная платформа, объединяющая телематические, вычислительные и информационные сервисы в ЕЭС России	6 (2) 19

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА

Гусев С.В., Чеповский А.М. Автоматическая идентификация текстов на славянских языках, пользующихся кириллицей, записанных латинским алфавитом	1 (2) 27
Шумарин С.И. Адаптация иноязычных аббревиатур в современном русском языке (на материале терминов мобильной связи)	2 (2) 16
Якушевич И.В. Лингво-когнитивная модель символа	2 (2) 24
Падучева Е.В. Онтологические категории имен речи: проблема категориальной неоднозначности	4 (2) 18
Хайруллин В.И. Корпусный словарь фобиотерминологии	4 (2) 30
Васильченко К.А. Терминологические словосочетания и проблема их определения	4 (2) 33
Кузнецов И.О. Автоматическое извлечение двусловных терминов по тематике «Нанотехнологии в медицине» на основе корпусных данных	5 (2) 25
Яцко В.А. Алгоритмы распознавания собственных имен	5 (2) 34

Акинина Ю. С., Кузнецов И. О., Толдова С. Ю. Сравнение двух методов автоматического извлечения участников события из неструктурированных источников	6 (2) 24	Захаров В.П. Новая книга Ю. Д. Григорьева и Г. Я. Мартыненко	2 (2) 37
Алексеев А.В. К вопросу о символическом семиозисе слова в истории языка	8 (2) 32	Плешкевич Е.А. История архивоведческой мысли: размышления в связи с выходом учебника [Рец. на кн.]	3 (1) 29
СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ		Плющ М. А. Об использовании Интернета для сбора информации по истории книги и библиотек: на примере сведений о реестре А.И. Богданова	7 (1) 32
Михеенкова М.А., Дружинина Е.Г. О состоянии и перспективах российских исследований в области искусственного интеллекта (по материалам конференции КИИ-2012)	2 (2) 30	Шелов С.Д., Цумарев А.Э. Белорусская терминология и профессиональная лексика в словарях и в компьютере [Рец. на кн.]	11 (1) 43
		Арутюнов В.В. О Всероссийской научно-практической конференции «Математика, информатика, естествознание в экономике и обществе»	12 (1) 28

Авторский указатель

Акинина Ю. С.	6 (2) 24	Бузмаков А.В.	10 (2) 27	Елецкий А.В.	11 (1) 31
Алешин И.М.	7 (1) 19	Буйлова Н.М.	11 (1) 31	Еремченко О.А.	8 (1) 1
Алексеев А.В.	8 (2) 32	Быков В.А.	5 (1) 23	Еркимбаев А.О.	12 (1) 1
Аллахвердян А.Г.	5 (1) 35			Ефременкова В.М.	12 (1) 19
Алпатов М.Г.	3 (1) 19				
Антипов С.Г.	7 (2) 20	Вагин В.Н.	7 (2) 20		
Антопольский А.Б.	4 (1) 25	Василенко Е.А.	11 (1) 26	Жуков Д.Ю.	11 (1) 26
Антошкова О.А.	4 (1) 3	Васильченко К.А.	4 (2) 33	Журавлева И.П.	3 (1) 19
	4 (1) 38	Веселовский А.В.	12 (1) 16		
Арефьев П.Г.	8 (1) 1	Волкова А.Ю.	7 (2) 5		
Арский Ю.М.	5 (1) 23		11 (2) 12	Забейайло М.И.	7 (2) 33
Арутюнов В.В.	6 (1) 15	Волкова Г.А.	10 (2) 19	Захаров В.П.	2 (2) 37
	8 (1) 24	Гальберг Т.В.	12 (1) 16	Захарова О.С.	5 (1) 31
	10 (1) 12	Галявиева М.С.	6 (1) 1	Зацман И.М.	7 (1) 1
	12 (1) 28	Гиляревский Р.С.	8 (2) 1	Зеленков П.В.	10 (2) 8
Астахова Т.С.	4 (1) 7		10 (1) 20	Зиновьева Н.В.	2 (1) 24
Афанасьева Т.В.	3 (2) 35	Голицына О.Л.	3 (2) 1	Зицерман В.Ю.	11 (1) 31
		Гребенникова А.А.	4 (1) 15		12 (1) 1
		Грибова В.В.	4 (2) 9		
			6 (2) 1		
Бапиева М.К.	9 (1) 8		11 (2) 27	Иванов К.Н.	3 (2) 9
Бауман К.Е.	4 (2) 1		8 (2) 20	Ивановский А.А.	4 (1) 9
Бахмарева К.К.	10 (2) 8	Гриняк В.М.	10 (1) 30	Ильвовский Д.А.	1 (2) 10
Башмаков А.И.	4 (1) 27	Гуреев В.Н.	12 (1) 12		
Белоногов Г.Г.	8 (2) 1		1 (2) 27	Калафати Ю.Д.	10 (2) 12
Белоозеров В.Н.	4 (1) 18	Гусев С.В.		Карпов А. А.	1 (2) 20
	4 (1) 31		2 (1) 1	Кирков А.Ю.	2 (2) 8
	4 (1) 38	Двоеносова Г. А.	5 (1) 1	Клещев А.С.	4 (2) 9
Берёзкина Н.Ю.	10 (1) 25		8 (2) 20		6 (2) 1
Берестова Т.Ф.	3 (1) 1	Девятисильный А.С.	10 (2) 8		11 (2) 27
Бескаравайная Е.В.	2 (1) 14	Демиш А.В.	9 (1) 17	Климушкин М. А.	1 (2) 10
Бессонов Ю.Е.	12 (2) 27	Денискин А.А.	4 (1) 7	Клышинский Э.С.	11 (2) 36
Бетин В.Н.	9 (2) 30	Дмитриева Е.Ю.	4 (1) 38	Кобзев Г.А.	11 (1) 31
Блинова В.Г.	5 (2) 15	Дружинина Е.Г.	2 (2) 30		12 (1) 1
Бобров Л.К.	5 (2) 7			Ковалев А.И.	6 (1) 21
	9 (2) 35				11 (1) 10
Боровик М.А.	11 (1) 20	Егоров В.С.	3 (1) 8	Ковалев И.В.	10 (2) 8
Брежнева В.В.	10 (1) 20		8 (1) 33		

Козловский П.А.	10 (2) 12	Орлова М.М.	2 (1) 20	Теймуразов К.Б.	12 (1) 1
Корнетова А.Н.	4 (2) 1	Осипов А.Л.	9 (2) 35	Тельных А.А.	10 (2) 12
Королева Л.М.	12 (2) 27			Толдова С. Ю.	6 (2) 24
Корягин В.Н.	7 (1) 19			Тонерян М.С.	3 (2) 35
Кочеткова Н.А.	11 (2) 36	Павловский В.Е.	2 (2) 8	Топинский В.А.	4 (2) 1
Крылов Д.А.	4 (2) 9	Падучева Е.В.	4 (2) 18	Трепалин С.В.	12 (2) 27
	6 (2) 1	Панфилов В.И.	11 (1) 26		
Крылова Т.А.	2 (1) 24	Пескова О. В.	10 (2) 1		
Кузнецов Б.А.	1 (2) 1	Плешкевич Е.А.	3 (1) 29	Улезько Г.Г.	9 (1) 8
Кузнецов И.О.	5 (2) 25		9 (1) 1	Успенский В.А.	7 (2) 2
	6 (2) 24		11 (1) 1		
Кульевская Ю.Г.	9 (1) 8	Плющ М. А.	7 (1) 32		
Куракова Н.Г.	8 (1) 1	Полтавская Е.И.	5 (2) 1	Финн В.К.	9 (2) 1
			8 (2) 12		12 (2) 1
				Фомина М.В.	7 (2) 20
Либкинд А.Н.	2 (1) 24				
	3 (2) 9	Раевская Е.Г.	9 (1) 28		
Либкинд И.А.	3 (2) 9	Распопин Н.А.	10 (2) 8	Хайруллин В.И.	4 (2) 30
Лобанов А.С.	5 (1) 11	Ревенко А.В.	6 (2) 10	Хакимова Д.А.	4 (2) 1
Логачева В.К.	11 (2) 36	Решетникова В.В.	5 (2) 15	Харыбина Т.Н.	2 (1) 14
Логинов Е.Л.	6 (2) 19	Романова М.С.	1 (1) 32	Холодков К.И.	7 (1) 19
Лукашевич А.В.	9 (1) 34	Рыжков О.Ю.	5 (2) 7	Хорошилов А.А.	8 (2) 1
Лукашевич Н.Л.	9 (1) 34			Хренова Г.С.	10 (1) 25
		Саркисян Д.Б.	1 (1) 12		
Мазов Н.А.	10 (1) 30		6 (1) 31	Цветкова Л.А.	8 (1) 1
	12 (1) 12	Седякина А.Н.	9 (1) 34	Цумарев А.Э.	11 (1) 43
Максимов Н.В.	3 (2) 1	Селетков С.Н.	8 (2) 1		
Маркусова В.А.	2 (1) 24	Семенюк Э.П.	1 (1) 1		
	3 (2) 9	Серебряков В.А.	12 (1) 1	Чеповский А.М.	1 (2) 27
	5 (1) 35	Сивуха Д.В.	11 (1) 26	Чултурова Д.Ш.	9 (1) 8
Мартиросян З.Г.	6 (1) 31	Сикорская О.Н.	10 (1) 25		
Мдивани Р.Р.	7 (1) 23	Ситникова И.С.	1 (1) 32		
Мельникова Е.В.	1 (1) 12	Слащева Н.А.	2 (1) 14	Шабурова Н.Н.	4 (1) 18
Мельников О.А.	1 (1) 12	Слива А.И.	9 (1) 17		4 (1) 21
Миндели Л.Э.	2 (1) 24	Смирнова О.В.	4 (1) 5	Шапкин А.В.	4 (1) 18
Митрович Божидар	4 (1) 37	Соловьёв А. А.	10 (2) 1	Шелов С.Д.	11 (1) 43
Михеенкова М.А.	2 (2) 30	Ставинский Е.Н.	1 (1) 32	Шемберко Л.В.	9 (1) 17
	7 (2) 5	Старичкова Ю.В.	2 (2) 1		11 (1) 20
Московкин В.М.	1 (1) 26	Старков С.О.	10 (2) 12	Шогин А.Н.	3 (1) 19
Мохначева Ю.В.	2 (1) 14	Стародубов В.И.	8 (1) 1		5 (1) 31
		Старцева О.Б.	5 (1) 31		7 (1) 19
		Старых В.А.	4 (1) 27	Штеренберг М.И.	7 (1) 13
			4 (1) 31	Шговба Е.В.	7 (1) 28
Нестеров А.В.	3 (1) 24	Столяров Ю.Н.	2 (1) 8	Шговба С.Д.	7 (1) 28
Нестерович Ю.В.	8 (1) 15	Строгонов В.И.	3 (2) 1	Шумарин С.И.	2 (2) 16
	10 (1) 1	Супрун А.П.	9 (2) 30		
Нефедов О.М.	12 (2) 27	Сухорослов О.В.	7 (1) 19		
Нешитой В.В.	11 (2) 1	Сукиасян Э.Р.	4 (1) 12	Якушевич И.В.	2 (2) 24
		Сурикова Н.Г.	4 (1) 7	Янц М. (Нидерланды)	3 (2) 9
Овченкова Е.А.	2 (1) 38	Сухоруков М.К.	4 (1) 15	Ярушкина Н.Г.	3 (2) 35
Окропишина О.В.	3 (2) 1	Сюнтюренко О.В.	6 (1) 11	Яцко В.А.	5 (2) 34
Олейникова О.Л.	3 (1) 19			Яшков И.Б.	8 (2) 26
	5 (1) 31				

БАЗА ДАННЫХ ВИНИТИ РАН

ВИНИТИ предлагает к использованию через WWW-сервер (<http://www.viniti.ru>) крупнейшую Федеральную базу отечественных и зарубежных публикаций по естественным, точным и техническим наукам. БД ВИНИТИ РАН генерируется с 1981 г., обновляется ежемесячно, пополнение составляет около 1 млн документов в год. БД ВИНИТИ представлена ретроспективными тематическими фрагментами и единой политематической БД (ретроспектива с 2001 г.), объединяющей все тематические фрагменты БД ВИНИТИ.

БД ВИНИТИ РАН в сети INTERNET

Сервер ВИНИТИ – <http://www.viniti.ru> – обеспечивает on-line доступ к Базе данных ВИНИТИ РАН круглосуточно без выходных.

На основе БД ВИНИТИ РАН предоставляются следующие услуги:

- Диалоговый поиск научно-технической информации в **режиме on-line**;
- **Демо-версия**, позволяющая ознакомиться с основными функциями поисковой системы, составом данных, формами представления документов и получить навыки работы с системой;
- **Поисковые эксперты ВИНИТИ** выполняют тематический поиск по разовым или постоянным запросам, а также окажут **консультационные услуги**.

БД ВИНИТИ РАН на CD-ROM

Любые наборы тематических фрагментов БД ВИНИТИ или их разделов могут быть предоставлены на **CD-ROM в поисковой системе (ИПС) "Сокол"**, обеспечивающей все поисковые функции, доступные в режиме on-line:

- Поиск можно вести в годовом или ретроспективном массиве (за несколько лет сразу) в одном или нескольких тематических фрагментах .
- Поиск по словам и любым словосочетаниям из заглавия, реферата, ключевых слов.
- Использование года, языка, рубрик, шифров тематических разделов БД для уточнения поиска.
- Поиск по словарю, выполняющему функции многоаспектного указателя, в том числе авторского, предметного, источников, индексов МПК, номеров патентных документов и депонированных рукописей и т.д.
- Возможность запоминания запросов для последующего их использования и/или редактирования.
- Чтение документов не только как в РЖ (последовательный просмотр документов одного номера за другим), но и чтение документов нужных тематических фрагментов (разделов) по оглавлению за весь период заказанной ретроспективы.

ИПС "Сокол" является прикладной программой Microsoft Windows.

Любые наборы тематических фрагментов БД ВИНИТИ или их разделов могут быть подготовлены в **коммуникативных форматах ISO-2709, МЕКОФ, txt** на любых видах электронных носителей.

Продукты предоставляются на договорной основе.

Информационная служба БД ВИНИТИ: 125190, Москва, ул. Усиевича 20, ВИНИТИ
Телефон: (499) 155-45-01, 155-45-02, **Факс:** (499) 152-62-31 **e-mail:** csbd@viniti.ru