

Интеллектуальная система прогнозирования развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом

Аннотация. В статье представлены результаты применения ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований (ДСМ-метода АПНИ), реализованного в компьютерной интеллектуальной системе (ИС-ДСМ), которая прогнозирует развитие сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом. Впервые ДСМ-метод АПНИ применен к последовательности расширяемых баз фактов, которая была использована для обнаружения эмпирических закономерностей (ЭЗК) – сохраняющихся причин изучаемого эффекта (развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом). Для распознавания ЭЗК в ИС-ДСМ использована алгебраическая решетка стратегий ДСМ-рассуждений (правил индуктивного вывода). Полученные результаты имеют информативную клиническую интерпретацию и являются свидетельством полезности интеллектуального анализа данных посредством ИС-ДСМ, которая может применяться как инструмент доказательной медицины.

Ключевые слова: ДСМ-метод, эмпирические закономерности, компьютерная интеллектуальная система, доказательная медицина, панкреатит, диабет.

1. Об интеллектуальных системах, реализующих ДСМ-метод автоматизированной поддержки научных исследований

Интеллектуальными системами (ИС) являются компьютерные системы, имитирующие и усиливающие познавательную деятельность человека. Они имеют следующую архитектуру: ИС = Решатель задач + (база фактов + база знаний) + комфортный интерфейс для пользователя; Решатель задач состоит из Рассуждателя, Вычислителя и Синтезатора таких, что Рассуждатель осуществляет автоматизированные рассуждения, Вычислитель применяется к числовым данным (если таковые есть), а Синтезатор формирует стратегии решения задач и координирует взаимодействие Рассуждателя и Вычислителя; комфортный интерфейс осуществляет диалог, представление результатов работы Решателя (в том числе их графическое представление), выбор стратегий решения задач и научение работе с системой.

ИС могут работать как в автоматическом, так и в интерактивном режиме, а потому они являются партнерскими человеко-машинными системами, работающими в реальном времени [1].

ИС способны автоматизировать в интерактивном режиме познавательный процесс, состоящий из анализа данных, порождения гипотез и объяснения результатов работы Решателя задач.

Автоматизация подобного процесса тогда и только тогда является познавательной осмысленной (будем называть ее когнитивной), когда в результате работы ИС обнаружено новое знание (knowledge discovery), полезное для пользователя, решающего поставленную задачу.

Если применение ИС для решения некоторой задачи (проблемы) доставляет новое знание, то, согласно К.Р. Попперу [2], ИС является инструментом для роста знания, представимого схемой: P1-ТТ-ЕЕ-Р2, где P1-задача (проблема), ТТ-пробная теория, ЕЕ-коррекция ТТ и исправление ошибок, Р2-новая возникшая проблема.

Таким образом, возможность обнаружения нового знания в результате работы ИС означает, что она является системой **автоматизированной поддержки научных исследований**.

Рассматриваемая в настоящей статье ИС, реализующая ДСМ-рассуждения, [1, 3] применяется для решения актуальной проблемы – предсказания развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом¹.

Охарактеризуем теперь ДСМ-рассуждения, являющиеся синтезом индукции (для анализа данных), аналогии (применяемой для предсказаний изучаемых эффектов) и абдукции (процедуры принятия гипотез посредством объяснения множества исходных фактов) [3] Часть I, [5].

ДСМ-рассуждения формализуются посредством языка JSM-L [1, 3]. JSM-L содержит множества переменных и констант трех сортов:

$X, Y, Z, V, \dots$ (быть может, с нижними индексами) – переменные 1^{ого} рода для объектов и подобъектов; C и $C', \dots$ (быть может, с нижними индексами) – константы, являющиеся значениями переменных 1^{ого} сорта; $Y, U, W, \dots$ (быть может, с нижними индексами) – переменные 2^{ого} сорта для эффектов (множеств свойств); Q и $Q', \dots$ (быть может, с нижними индексами) – константы, являющиеся значениями переменных 2^{ого} сорта; n, m, l, k, r, s, p, q (быть может, с нижними индексами) – переменные 3^{ого} сорта для натуральных чисел. Функциональные символы:

$-, \cap, \cup$ – операции алгебры множеств,

$+$ – операция сложения натуральных чисел;

$\Rightarrow_1, \Rightarrow_2, \subseteq, \subset, =, \leq, \geq$ – предикатные символы, где $X \Rightarrow_1 Y$ и $V \Rightarrow_2 W$ – предикаты «объект X имеет множество свойств Y » и «подобъект V причина эффекта W », соответственно;

$\neg, \&, \vee, \rightarrow$ логические связки двузначной логики, $J_{\bar{v}}$ – одноместные логические связки Б. Россера – А. Тюркетта [6], где истинностное значение $\bar{v} = \langle v, n \rangle$, $v \in \{1, -1, 0\}$, $n \in \mathbb{N}$, $\mathbb{N}$ – множество натуральных чисел, v – тип истинностного значения, а 1, -1, 0, τ – фактическая истина, ложь, противоречие и неопределенность, соответственно; t, f – истинностные значения двузначной логики (истина, ложь); $\forall, \exists$ – кванторы для трех типов переменных, соответственно.

$V_{in} = \{\langle v, n \rangle \mid (v \in \{1, -1, 0\}) \& (n \in \mathbb{N})\} \& \{(\tau, n) \mid n \in \mathbb{N}\}$, где $(\tau, n) = \{\langle 1, n+1 \rangle, \langle -1, n+1 \rangle, \langle 0, n+1 \rangle\} \cup \{(\tau, n+1)\}$, где $\langle v, n \rangle$ – истинностные значения бесконечнозначной логики такие, что v, τ – **типы** истинностных значений, а (τ, n) – множество возможных истинностных значений, определяемое рекуррентно. $\langle v, n \rangle$ и (τ, n) – **внутренние** (фактические) истинностные значения и их множества, соответственно, а $V_{ex} = \{t, f\}$ – **внешние** (логические) истинностные значения в смысле Д.А. Бочвара [7].

В $\langle v, n \rangle$ и (τ, n) параметр n представляет число применений (шагов) правил правдоподобного вывода, которое характеризует степень правдоподобия порождаемых гипотез: чем больше n , тем меньше степень правдоподобия гипотезы.

Посредством $J_{\bar{v}}$ приписывается внешние истинностные значения формулам φ , принимающим внутренние истинностные значения из V_{in} :

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

Аналогично определяется $J_{(\tau, n)}$. Определим также $J_{(v, n)}$ следующим образом: $J_{(v, n)} = \bigvee_{n=0}^i J_{\langle v, i \rangle} \varphi$.

Заметим, что посредством $J_{\langle v, 0 \rangle}$ и $J_{(v, n)}$, где $n > 0$, представляются факты и гипотезы, соответственно.

Объекты (подобъекты) и эффекты представимы посредством исходных множеств $U^{(1)}$ и $U^{(2)}$, соответственно, а булевы алгебры $B_i = \langle 2^{U^{(i)}}, \emptyset, U^{(i)}, -, \cap, \cup \rangle$, где $i=1,2$, используются для определения предикатов $X \Rightarrow_1 Y$ и $V \Rightarrow_2 W$ и правил правдоподобного вывода. B_i являются средством формализации структуры данных рассматриваемой в настоящей статье интеллектуальной системы (ИС). Предикаты $\Rightarrow_i$ определяются как отображения $\Rightarrow_i: 2^{U^{(1)}} \times 2^{U^{(2)}} \rightarrow V_{in}$, где $i = 1, 2$.

¹ Панкреатит – заболевание поджелудочной железы.

Помимо стандартных средств определения формул в JSM-L применяются кванторы по кортежам, используемые для задания формул переменной длины таких, что они представляют множество k сходных примеров (экзистенциальное условие для индуктивного вывода), где k – переменная величина ([8], Глава 4 и 6).

ДСМ-рассуждения, реализуемые главным модулем Решателя задач, рассматриваемой интеллектуальной системы – Рассуждателем, осуществляют взаимодействие трех познавательных процедур. Таковыми являются индукция, аналогия и абдукция [3]. Посредством индукции порождаются гипотезы о причинах изучаемых эффектов, аналогия использует эти гипотезы для предсказания наличия (отсутствия) этих эффектов у примеров, не имеющих определенной оценки (тип такой оценки – τ , обозначающий неопределенность). Заключительной процедурой является абдукция, посредством которой принимаются порожденные гипотезы, если гипотезы о причинах эффектов объясняют начальное состояние базы фактов.

В интеллектуальной системе, реализующей ДСМ-рассуждения (ее сокращенное название – ИС-ДСМ), используются предикаты, устанавливающие сходство фактов в базе фактов (БФ).

Условиями применимости ДСМ-рассуждений являются:

1. возможность формализовать интерпретируемое сходство примеров (для булевой структуры данных им является непустое пересечение некоторого множества примеров);
2. наличие в БФ, как позитивных примеров $(+)$ -примеров, так и негативных примеров $(-)$ -примеров изучаемого эффекта;
3. существование в БФ зависимостей «причина-следствие» как для позитивных фактов, так и для негативных фактов, заданных неявно.

ИС-ДСМ могут использоваться для обнаружения эмпирических закономерностей в последовательностях расширяемых баз фактов. Под эмпирической закономерностью (ЭКЗ), распознаваемой в ИС-ДСМ, будем понимать регулярность, сохраняющуюся в последовательности расширяемых баз фактов. Такой регулярностью будет сохранение типов истинностных значений «фактически, истинно» (1) и «фактически ложно» (-1) у порождаемых гипотез в ИС-ДСМ.

Под **фактами** будем понимать высказывания вида $J_{(v, 0)}(C \Rightarrow_1 Q)$, $J_{(\tau, 0)}(C \Rightarrow_1 Q)$, где C , Q – константы, а $v \in \{1, -1\}$; а гипотезами, порождаемыми ДСМ-рассуждением являются высказывания вида $J_{(v, n)}(C \Rightarrow_1 Q)$, $J_{(\tau, n)}(C \Rightarrow_1 Q)$, $J_{(v, n)}(C \Rightarrow_2 Q)$, $J_{(\tau, n)}(C \Rightarrow_2 Q)$, где $n > 0$. Факты и гипотезы будем называть **примерами** или **v -примерами** ($v \in \{1, -1, 0, \tau\}$).

Для порождения гипотез о причинах изучаемого эффекта формулируются предикаты **сходства**, называемые M -предикатами. $M_{a,n}^+(V, W)$ и $M_{a,n}^-(V, W)$, определяемые ниже, они применимы к $(+)$ -примерам и $(-)$ -примерам, соответственно, которые представляют высказывания с типами истинностных значений 1 и -1.

Определим предикат положительного сходства $(+)$ – примеров $M_{a,n}^+(V, W)$, где n – параметр, выражающий число применений правил правдоподобного вывода (п.п.в.), а индекс « a » – имя предиката сходства².

$M_{a,n}^+(V, W)$ определим посредством четырех компонент $(\exists Y)^+$, (CX) , $(ПЗ)^+$ и $(УИ)$, k , где $(\exists Y)^+$ – экзистенциальное условие $\bigvee_{i=1}^k J_{(1, n)}(X_i \Rightarrow_1 Y_i)$, (CX) – сходство $(+)$ -примеров, $((X_i \cap \dots \cap X_k) = V) \& \neg$

$(V = \emptyset)$, $(ПЗ)^+$ – причинно-следственная зависимость, а $(УИ)$ – условия исчерпываемости сходных $(+)$ -

примеров $(ПЗ)^+$, $(УИ) = \forall X \forall Y ((J_{(1, n)}(X \Rightarrow_1 Y) \& (V \subseteq X) \rightarrow ((W \subseteq Y) \& (\bigvee_{i=1}^k (X = X_i))))$, где $(\bigvee_{i=1}^k (X = X_i))$

– условие исчерпываемости; $k \geq 2$ – нижняя граница числа сходных примеров.

$M_{a,n}^+(V, W) \Rightarrow \exists k ((\exists Y)^+ \& (CX) \& (ПЗ)^+ (УИ) \& (k \geq 2))^3$.

Аналогично определим предикат сходства $M_{a,n}^-(V, Y)$ $(-)$ -примеров:

² a – первая буква английского слова «agreement».

³ $\Rightarrow$ – равенство по определению.

$$M_{a,n}^-(V, W) \Rightarrow ((\exists Y)^- \& (CX) \& (ПЗ)^-(УИ) \& (k \geq 2)),$$

$$\text{где } (\exists Y)^- \& \bigvee_{i=1}^k J_{(-1, n)}(X_i \Rightarrow_1 Y_i),$$

$$(ПЗ)^-(УИ) \forall X \forall Y ((J_{(-1, n)}(X \Rightarrow_1 Y) \& (V \subset X)) \rightarrow \& ((W \subseteq Y) \& (\bigvee_{i=1}^k (X_i = X))))$$

$$M_{a,n}^-(V, W) \Rightarrow \exists k ((\exists Y)^- \& (CX) \& (ПЗ)^-(УИ) \& (k \geq 2))$$

$M_{a,n}^\sigma(V, W)$, где $\sigma \in \{+, -\}$, могут быть усилены дополнительными условиями «запрета на контрпримеры» $((b)^+$ и $(b)^-$ – его имена) и «различия» $((d_0)^+$ и $(d_0)^-$ – его имена):

$$(b)^+ \forall X \forall Y ((V \subset X) \& (W \subseteq X)) \rightarrow (J_{(1, n)}(X \Rightarrow_1 Y) \vee J_{(\tau, n)}(X \Rightarrow_1 Y)),$$

$$(b)^- \forall X \forall Y ((V \subset X) \& (W \subset Y)) \rightarrow (J_{(-1, n)}(X \Rightarrow_1 Y) \vee J_{(\tau, n)}(X \Rightarrow_1 Y)),$$

$$(d_0)^+ \forall X \forall Y \forall Z \forall U ((J_{(1, n)}(X \Rightarrow_1 Y) \& (W \subseteq Y) \& (V \subset X) \& ((X - V) \subset Z) \& \neg ((X - V) = \emptyset) \& \neg (V \subset Z))) \rightarrow (\neg J_{(1, n)}(Z \Rightarrow_1 U) \vee \neg (W \subseteq U)),$$

$$(d_0)^- \forall X \forall Y \forall Z \forall U ((J_{(-1, n)}(X \Rightarrow_1 Y) \& (W \subseteq Y) \& (V \subset X) \& ((X - V) \subset Z) \& \neg (((X - V) = \emptyset) \& \neg (V \subset Z))) \rightarrow (\neg J_{(-1, n)}(Z \Rightarrow_1 U) \vee \neg (W \subseteq U)).$$

Условия $(b)^\sigma$, $(d_0)^\sigma$ добавляются к предикатам сходства $M_{a,n}^\sigma(V, W)$, где $\sigma \in \{+, -\}$, усиливая возможность распознать отношения «причина-следствие» в базе фактов и впоследствии в базе примеров.

Обозначим посредством $\Gamma^\sigma = \{a^\sigma, (ab)^\sigma, (ad_0)^\sigma, (ad_0b)^\sigma\}$, где $\sigma \in \{+, -\}$, множество имен усиленных предикатов сходства. Γ^σ соответствует множества $\mathbf{M}^\sigma = \{M_{a,n}^\sigma; M_{ab,n}^\sigma; M_{ad_0,n}^\sigma; M_{ad_0b,n}^\sigma\}$ – М-предикатов, посредством которых определяются правила индуктивного вывода $(I)_{x,y}^\sigma$, где $\sigma \in \{+, -\}$, а $x \in \Gamma^+$, $y \in \Gamma^-$.

$$(I)_{x,y}^+ \frac{J_{(\tau, n)}(V \Rightarrow_2 W), M_{x,n}^+(V, W) \& \neg M_{y,n}^-(V, W)}{J_{(1, n+1)}(V \Rightarrow_2 W)},$$

$$(I)_{x,y}^- \frac{J_{(\tau, n)}(V \Rightarrow_2 W), \neg M_{x,n}^+(V, W) \& M_{y,n}^-(V, W)}{J_{(-1, n+1)}(V \Rightarrow_2 W)},$$

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

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

Заметим, что множествам М-предикатов $\mathbf{M}^+$ и $\mathbf{M}^-$ соответствуют дистрибутивные решетки [9] такие, что отношение частичного порядка в них определяется посредством логической выводимости.

Посредством правил правдоподобного индуктивного вывода $(I)_{x,y}^\sigma$, где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$, (п.п.в.-1) порождаются гипотезы об отношении «причина-следствие», такие, что представляющие их высказывания, имеют истинностные значения $\bar{v} = \langle v, n+1 \rangle$ или множество истинностных значений $(\tau, n+1)$, где $v \in \{1, -1, 0\}$, а $n+1$ – степень правдоподобия, представляющая число шагов правил правдоподобного вывода (п.п.в.).

Результаты применения п.п.в.-1 $(I)_{x,y}^\sigma$ используются для предсказания исследуемых эффектов посредством выводов по аналогии – п.п.в.-2.

Эффектами, исследуемыми в настоящей работе, являются наличие или отсутствие сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом.

Выводы по аналогии формализуются посредством предикатов $\Pi_n^\sigma(V, W, k)$, где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$, а k – параметр, выражающий число гипотез о (σ) – причинах, вынуждающих (детерминирующих) исследуемые эффекты.

Предикат $\Pi_n^\sigma(V, W, k)$ определяется посредством трех условий (1) – (3):

(1) объект V содержит $(+)$ – причины $X_1, \dots, X_k$ для множеств свойств $Y_1, \dots, Y_k$, соответственно,

(2) эффект W покрывается множествами $Y_1, \dots, Y_k$, $W = \bigcup_{i=1}^k Y_i$,

(3) V не содержит ни $(-)$ -причин Z для U , ни Z таких, что $J_{(0,n)}(Z \Rightarrow_2 U)$, а $U \subseteq W$.

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

$\Pi_n^\sigma(V, W)$, где $\sigma \in \{+, -\}$, определяется посредством квантификации параметра k :

$\Pi_n^\sigma(V, W) = \exists k \Pi_n^\sigma(V, W, k)$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Предикат $\Pi_n^0(V, W)$ определяется посредством интерференции гипотез $J_{(1,n)}(X_1 \Rightarrow_2 Y_1)$ и $J_{(-1,n)}(X_2 \Rightarrow_2 Y_2)$, а также посредством существования гипотез $J_{(0,n)}(X \Rightarrow_1 Y)$ таких, что $\neg(Y_1 \cap Y_2 = \emptyset)$, $X_i \subset V$, $Y_i \subseteq W$, $i = 1, 2$; $Y \subseteq W$.

Предикат $\Pi_n^\tau(V, W)$ определяется посредством $\Pi_n^\sigma(V, W)$, где $\sigma \in \{+, -, 0\}$:

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

Правила правдоподобного вывода (п.п.в.-2) для аналогии $(\Pi)_{x,y}^\sigma$ определяются для каждой пары $\langle x, y \rangle$, где $x \in \Gamma^+$, а $y \in \Gamma^-$, которая соответствует произведению дистрибутивных решеток для М-предикатов [9].

$$(\Pi)_{x,y}^\sigma \frac{J_{(\tau,n)}(V \Rightarrow_1 W), \Pi_n^\sigma(V, W)}{J_{(v,n+1)}(V \Rightarrow_1 W)}$$

где $v = \begin{cases} 1, \text{ если } \sigma = + \\ -1, \text{ если } \sigma = - \\ 0, \text{ если } \sigma = 0 \end{cases}$

$$(\Pi)_{x,y}^\tau \frac{J_{(\tau,n)}(V \Rightarrow_1 W), \Pi_n^\tau(V, W)}{J_{(\tau,n+1)}(V \Rightarrow_1 W)}$$

ДСМ-рассуждение есть **итеративный** процесс последовательного применения п.п.в.-1 (индукции) и п.п.в.-2 (анalogии) до стабилизации множества порождаемых гипотез: $(\text{п.п.в.-1} \rightarrow \text{п.п.в.-2})_1 \rightarrow \dots \rightarrow (\text{п.п.в.-2})_n$, где n – такт стабилизации ДСМ-рассуждения.

Применение п.п.в. есть **шаг** ДСМ-рассуждения, а применение $(\text{п.п.в.-1} \rightarrow \text{п.п.в.-2})_i$ есть i – **такт** ДСМ-рассуждения.

Пусть Δ_i и Ω_i суть обозначения множества порождаемых гипотез для предикатов $V \Rightarrow_2 W$ и $V \Rightarrow_1 W$ посредством п.п.в.-1 и п.п.в.-2, соответственно, где $i = 1, 2, \dots, n$. Тогда стабилизация ДСМ-рассуждения означает, что $\Delta_n = \Delta_{n+1}$ и $\Omega_n = \Omega_{n+1}$.

Последовательность i – тактов до стабилизации ($i = n$) является оператором $0_{x,y}(\Omega)$. Определим ДСМ-оператор $\bar{0}_{x,y}(\Omega) = 0_{x,y}(\Omega) \cup \Omega$, где Ω – множество примеров, представимых посредством $V \Rightarrow_1 W^4$.

Применение оператора $\bar{0}_{x,y}(\Omega)$ означает реализацию стратегии ДСМ-рассуждения, образованной последовательным применением п.п.в.-1 и п.п.в.-2 таких, что п.п.в.-1 применяют М-предикаты $M_{x,n}^+(V, W)$ и $M_{y,n}^-(V, W)$, где $x \in \Gamma^+$, $y \in \Gamma^-$, а $\Pi_n^\sigma(Z, U)$ используют гипотезы, порожденные п.п.в.-1. Стратегии ДСМ-рассуждения будем обозначать посредством $\text{Str}_{x,y}$, а их множество – $\overline{\text{Str}}$.

Заметим, что п.п.в.-1 образуют дистрибутивные решетки для $(\Pi)_{x,y}^\sigma$, где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$ [9].

Идеальным случаем для применимости ДСМ-рассуждений является истинность аксиом каузальной полноты АКП⁽⁺⁾ и АКП⁽⁻⁾:

АКП⁽⁺⁾ $\forall X \forall Y \exists V (J_{(1,0)}(X \Rightarrow_1 Y) \rightarrow \exists n (J_{(1,n)}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X) \& \neg(V = \emptyset)))$,

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

Истинность АКП^(\sigma), где $\sigma \in \{+, -\}$, означает тотальную выполнимость третьего условия применимости ДСМ-рассуждений [1, 3] – существование в базе фактов в неявном виде зависимостей причинно-следственного типа.

Определим базу фактов ИС следующим образом. $\text{БФ} = \text{БФ}^{(+)} \cup \text{БФ}^{(-)} \cup \text{БФ}^{(\tau)}$, где $\text{БФ}^{(\sigma)} = \{\langle X, Y \rangle | J_{(v,0)}(X \Rightarrow_1 Y), \text{ где } \sigma \in \{+, -\}, v = \begin{cases} 1, \text{ если } \sigma = + \\ -1, \text{ если } \sigma = - \end{cases}; \text{ а } \text{БФ}^{(\tau)} = \{\langle X, Y \rangle | J_{(\tau,0)}(X \Rightarrow_1 Y)\}$.

⁴ $\bar{0}_{x,y}(\bar{0}_{x,y}(\Omega)) = \bar{0}_{x,y}(\Omega)$ (идемпотентность), $\Omega \subseteq \bar{0}_{x,y}(\Omega)$ (экстенсивность).

Истинность АКП^(σ) означает, что каждый элемент БФ⁽⁺⁾ и БФ⁽⁻⁾ $J_{\langle 1, 0 \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$ и $J_{\langle -1, 0 \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$, соответственно, представляет факт такой, что для эффекта Q существует причина V такая, что $V \subset C$. Следовательно, имеется **объяснение** наличия (отсутствия) эффекта Q у объекта C.

АКП^(σ) могут быть не истинными из-за неполноты множества исходных фактов в БФ. Тогда лишь истинны следующие утверждения в случае применимости ДСМ-рассуждений

$$(\exists)^+ \exists X \exists Y \exists V \exists n (J_{\langle 1, 0 \rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \& (V \subset X) \& \neg (V = \emptyset) \& J_{\langle 1, n \rangle}(V \Rightarrow_2 Y)),$$

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

В случае неполноты множества фактов в исходной БФ_{0,0} рассматривается последовательность вложенных БФ: $БФ_{0,0} \subset БФ_{0,1} \subset \dots \subset БФ_{0,s}$ такая, что добавляются лишь (+) – факты и (–)-факты при сохранении БФ_{0,0}, заданной для **предсказания**.

Определим фрагменты БФ^σ такие, что их элементы имеют объяснения ($\sigma \in \{+, -\}$):

$$\widetilde{БФ}_{0,i}^+ = \{ \langle X, Y \rangle \mid \exists V \exists n (J_{\langle 1, 0 \rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \& J_{\langle 1, n \rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X)) \},$$

$$\widetilde{БФ}_{0,i}^- = \{ \langle X, Y \rangle \mid \exists V \exists n (J_{\langle -1, 0 \rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \& J_{\langle -1, n \rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X)) \}, \text{ где } i = 0, 1, \dots, s, \text{ а } \widetilde{БФ}_{0,i}^\sigma \subseteq БФ_{0,i}^\sigma (\sigma \in \{+, -\}).$$

Множества формул, взаимно-однозначно соответствующие БФ_{0,i} обозначим посредством $\Omega_{0,i}$. $\Omega_{0,i} = \Omega_{0,i}^+ \cup \Omega_{0,i}^- \cup \Omega_{0,i}^\tau$, где $\Omega_{0,i}^\tau$ взаимно-однозначно соответствует БФ_{0,i}^(τ), а потому $|БФ_{0,i}^{(\tau)}| = |\Omega_{0,i}^\tau|$: числа элементов этих множеств равны ($i = 0, 1, \dots, s$).

$$\text{Определим функции степени абдуктивного объяснения } \rho^{(+)}(i) = \frac{|\widetilde{БФ}_{0,i}^{(+)}|}{|БФ_{0,i}^{(+)}|}, \rho^{(-)}(i) = \frac{|\widetilde{БФ}_{0,i}^{(-)}|}{|БФ_{0,i}^{(-)}|}.$$

Пусть $\rho^{(\sigma)}$ есть назначенный порог (например, $\rho^\sigma = 0,8$), тогда будем говорить, что имеет место **абдуктивная сходимость**, если $\rho^\sigma(0) \leq \rho^\sigma(1) \leq \dots \leq \rho^\sigma(s)$, где $\rho^\sigma \leq \rho^\sigma(s) \leq 1$.

Очевидно, что абдуктивная сходимость имеет место при истинности ($\exists^\sigma$), если же истинны АКП^(σ), то $\rho^\sigma(s) = 1$.

Пусть $\bar{\Omega}_{0,s} = \Omega_{0,s}^+ \cup \Omega_{0,s}^-$, где $\Omega_{0,s}^\sigma$ взаимно-однозначно представляет заключительную БФ_{0,s} = $БФ_{0,s}^+ \cup БФ_{0,s}^- \cup БФ_{0,s}^\tau$ для предиката $X \Rightarrow_1 Y$. Тогда порожденные гипотезы посредством п.п.в.-1 и п.п.в.-2 принимаются, если имеет место абдукция Ч.С. Пирса [3] Часть I:

$\Omega_{0,s}^+ \cup \Omega_{0,s}^-$ - множество фактов,

$\Delta_s^+ \cup \Delta_s^-$ - множество гипотез о (±)-причинах,

$E(\Omega_{0,s}^+ \cup \Omega_{0,s}^-, \Delta_s^+ \cup \Delta_s^-)$ – гипотезы о (±)-причинах объясняют (±) – факты.

Δ_s^σ есть множество всех гипотез $J_{\langle v, n_s \rangle}(C \Rightarrow_2 Q)$,

$$\text{где } v = \begin{cases} 1, & \text{если } \sigma = + \\ -1, & \text{если } \sigma = - \\ 0, & \text{если } \sigma = 0 \end{cases}$$

а $\sigma \in \{+, -, 0\}$;

Δ_s^τ - множество всех гипотез $J_{\langle \tau, n_s \rangle}(C \Rightarrow_2 Q)$; n_s – число применений п.п.в. при стабилизации ДСМ-рассуждения на заключительном этапе s (последнее расширение БФ).

Принятие гипотез согласно абдукции Ч.С. Пирса означает, что $\rho^\sigma \leq \rho^\sigma(s) \leq 1$.

Взаимодействие индукции (п.п.в.-1), аналогии (п.п.в.-2) и абдукции, образующие ДСМ-рассуждение представимо посредством применения ДСМ-оператора $\bar{O}_{x,y}$ и абдукции к последовательности вложенных баз фактов $БФ_{0,0} \subset БФ_{0,1} \subset \dots \subset БФ_{0,s}$ следующим образом: $\bar{O}_{x,y}(\Omega_{0,0}), \rho_0^\sigma; \bar{O}_{x,y}(\Omega_{0,1}), \rho_1^\sigma; \dots, \bar{O}_{x,y}(\Omega_{0,s}), \rho_s^\sigma$, где $\sigma \in \{+, -\}$, а пара $\langle x, y \rangle$ есть имя стратегии $\text{Str}_{x,y}$ ДСМ-рассуждения [9].

В [10] было сформулировано определение эмпирической закономерности (ЭЗК), наблюдаемой в последовательности вложенных (расширяемых) баз фактов $БФ_{0,0} \subset БФ_{0,1} \subset \dots \subset БФ_{0,s}$. Это определение ЭЗК содержит возможность различения двух видов – эмпирических законов (ЭЗ) и эмпирических тенденций (ЭТ), которые формулируются посредством функционалов степени противоречивости расширяемых множеств гипотез для п.п.в.-1(индукции) и п.п.в.-2(анalogии) соответственно [10].

В [11] было введено новое определение ЭЗК такое, что определение в [10] является его следствием. Новое определение ЭЗК формулируется посредством функций сохранения типов истинностных значений ξ_h^σ , где $\sigma \in \{+, -\}$, $h=1,2$, а ξ_1^σ и ξ_2^σ определяются для $X \Rightarrow_1 Y$ и П-предикатов и для $V \Rightarrow_2 W$ и М-предикатов, соответственно.

Рассмотрим последовательность вложенных баз фактов $B\Phi_{0,0}, B\Phi_{0,1}, \dots, B\Phi_{0,s}$ такую, что $B\Phi_{0,0} \subset B\Phi_{0,1} \subset \dots \subset B\Phi_{0,s}$. Каждой $B\Phi_{0,p}$ ($0 \leq p \leq s$) соответствует множество гипотез, порожденных ДСМ-оператором $\bar{O}_{x,y}$ для фиксированной стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$, правила для индукции (п.п.в.-1) которых образуют решетку [9]. Каждой $B\Phi_{0,p}$ соответствует множество гипотез $\Delta(p)$ и $\Omega(p)$ для предикатов $V \Rightarrow_2 W$ и $X \Rightarrow_1 Y$, соответственно, где $\Delta(p) = \Delta^+(p) \cup \Delta^-(p) \cup \Delta^0(p) \cup \Delta^r(p)$, а $\Omega(p) = \Omega^+(p) \cup \Omega^-(p) \cup \Omega^0(p) \cup \Omega^r(p)$.

Пусть $\langle C'_i, Q'_i \rangle$ пара констант для гипотез $J_{(v,n)}(C'_i \Rightarrow_2 Q'_i)$ или $J_{(\tau,n)}(C'_i \Rightarrow_2 Q'_i)$, где $v \in \{1, -1, 0\}$. Пусть также m есть число всех гипотез для $B\Phi_{0,s}$: $|\Delta(s)|=m$, а $B\Phi_{0,s}$ – заключительная БФ. Каждому множеству $\Delta(p)$, $0 \leq p \leq s$ принадлежат гипотезы $J_{(v,n)}(C'_i \Rightarrow_2 Q'_i)$, $v \in \{1, -1, 0\}$ или $J_{(\tau,n)}(C'_i \Rightarrow_2 Q'_i)$ для пары $\langle C'_i, Q'_i \rangle$, или же для $\langle C'_i, Q'_i \rangle$ в $\Delta(p)$ не имеется гипотезы.

В первом случае $\langle C'_i, Q'_i \rangle$ сопоставим тип истинностного значения v или τ , а во втором случае (при отсутствии гипотезы для $\langle C'_i, Q'_i \rangle$) этой паре сопоставим символ $*$, таким образом, каждой паре $\langle C'_i, Q'_i \rangle$ поставим в соответствие значение $\sigma_i(p)$ для $\Delta(p)$ такое что

$$\sigma_i(p) = \begin{cases} v, \text{ если } J_{(v,n_p)}(C'_i \Rightarrow_2 Q'_i) \in \Delta_i(p) \\ \tau, \text{ если } J_{(\tau,n_p)}(C'_i \Rightarrow_2 Q'_i) \in \Delta_i(p) \\ *, \text{ иначе} \end{cases}$$

Каждой паре $\langle C'_i, Q'_i \rangle$ соответствует упорядоченное множество $\pi_i^{(2)} = \langle \sigma_i(0), \sigma_i(1), \dots, \sigma_i(p), \dots, \sigma_i(s) \rangle$, где $1 \leq i \leq m$, $0 \leq p \leq s$, $\sigma_i(p) \in \{1, -1, 0, \tau, *\}$. Следовательно, для $\sigma_i(p)$ получаем Табл. 1 с двумя входами $\langle C'_i, Q'_i \rangle$ и $\Delta(p)$

Табл. 1.

	$\Delta(0)$	...	$\Delta(p)$	...	$\Delta(s)$
$\langle C'_1, Q'_1 \rangle$	$\sigma_1(0)$		$\sigma_1(p)$	...	$\sigma_1(s)$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
$\langle C'_i, Q'_i \rangle$	$\sigma_i(0)$	...	$\sigma_i(p)$	...	$\sigma_i(s)$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
$\langle C'_m, Q'_m \rangle$	$\sigma_m(0)$	...	$\sigma_m(p)$	...	$\sigma_m(s)$

Получим также Табл. 2 для гипотез, представимых посредством предиката $X \Rightarrow_1 Y$, имеющую два входа для пар $\langle C_i, Q_i \rangle$ и $\Omega(p)$, такую что каждой паре $\langle C_i, Q_i \rangle$ соответствует упорядоченное множество $\pi_i^{(1)} = \langle \sigma_i(0), \sigma_i(1), \dots, \sigma_i(p), \dots, \sigma_i(s) \rangle$, являющейся строкой в Таблице 4, где $0 \leq p \leq s$, а $1 \leq i \leq l$.

Табл. 2.

	$\Omega(0)$	...	$\Omega(p)$	...	$\Omega(s)$
$\langle C_1, Q_1 \rangle$	$\sigma_1(0)$		$\sigma_1(p)$	...	$\sigma_1(s)$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
$\langle C_i, Q_i \rangle$	$\sigma_i(0)$	...	$\sigma_i(p)$	...	$\sigma_i(s)$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$
$\langle C_m, Q_m \rangle$	$\sigma_m(0)$	...	$\sigma_m(p)$	...	$\sigma_m(s)$

Для строк Табл. 1 и Табл. 2 $\pi_i^{(2)}$ и $\pi_i^{(1)}$. Определим, соответственно, множества $B_2^\sigma(i)$, $D_2^\sigma(i)$ и $B_1^\sigma(i)$, $D_1^\sigma(i)$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

$$B_2^+(i) = \{ \sigma_i(p) | (\sigma_i(p) = 1) \ \& \ (1 \leq i \leq m) \ \& \ (0 \leq p \leq s) \},$$

$$D_2^+(i) = \{ \sigma_i(p) | \neg(\sigma_i(p) = 1) \ \& \ (1 \leq i \leq m) \ \& \ (0 \leq p \leq s) \},$$

$$B_2^-(i) = \{\sigma_i(p) | (\sigma_i(p) = -1) \& (1 \leq i \leq m) \& (0 \leq p \leq s)\},$$

$$D_2^-(i) = \{\sigma_i(p) | \neg(\sigma_i(p) = -1) \& (1 \leq i \leq m) \& (0 \leq p \leq s)\};$$

$$B_1^+(i) = \{\sigma_i(p) | (\sigma_i(p) = 1) \& (1 \leq i \leq m) \& (0 \leq p \leq s)\},$$

$$D_1^+(i) = \{\sigma_i(p) | \neg(\sigma_i(p) = 1) \& (1 \leq i \leq l) \& (0 \leq p \leq s)\},$$

$$B_1^-(i) = \{\sigma_i(p) | (\sigma_i(p) = -1) \& (1 \leq i \leq l) \& (0 \leq p \leq s)\},$$

$$D_1^-(i) = \{\sigma_i(p) | \neg(\sigma_i(p) = -1) \& (1 \leq i \leq l) \& (0 \leq p \leq s)\}.$$

$\neg((\sigma_i(p) = 1) \vee \neg((\sigma_i(p) = -1))$, содержащиеся в $D_j^\sigma(i)$, эквиваленты $((\sigma_i(p) = -1) \vee (\sigma_i(p) = 0) \vee (\sigma_i(p) = \tau))$ и $((\sigma_i(p) = 1) \vee (\sigma_i(p) = 0) \vee (\sigma_i(p) = \tau))$, соответственно где $\sigma \in \{+, -\}$.

Определим теперь функции $\tilde{\xi}_2^\sigma(V_i, W_i)$ и $\tilde{\xi}_1^\sigma(Z_i, U_i)$ степени сохранения типов истинностных значений ($\sigma \in \{+, -\}$) для порождаемых посредством предикатов $V \Rightarrow_2 W$ и $Z \Rightarrow_1 U$, соответственно. Предварительно определим функции степени несохранения типов истинностных значений $\xi_2^\sigma(V_i, W_i) = \frac{|D_2^\sigma(i)|}{|B_2^\sigma(i)|}$

и $\xi_1^\sigma(Z_i, U_i) = \frac{|D_1^\sigma(i)|}{|B_1^\sigma(i)|}$, где $\sigma \in \{+, -\}$, а $|B_j^\sigma(i)|$, $|D_j^\sigma(i)|$ - числа элементов множеств $B_j^\sigma(i)$, $D_j^\sigma(i)$.

Функции $\tilde{\xi}_j^\sigma$ являются частично-определенными, а символ # обозначает, что они не определены для соответствующих значений аргументов.

$$\tilde{\xi}_2^\sigma(V_i, W_i) = \begin{cases} 1 - \xi_2^\sigma(V_i, W_i), & \text{если } |B_2^+(i)| > |D_2^+(i)| \\ \#, & \text{если } |B_2^+(i)| \leq |D_2^+(i)| \end{cases}$$

$$\tilde{\xi}_1^\sigma(Z_i, U_i) = \begin{cases} 1 - \xi_1^\sigma(Z_i, U_i), & \text{если } |B_1^+(i)| > |D_1^+(i)| \\ \#, & \text{если } |B_1^+(i)| \leq |D_1^+(i)| \end{cases},$$

$$\sigma \in \{+, -\}.$$

Если $\tilde{\xi}_1^\sigma(Z_i, U_i) = 1$ и $\tilde{\xi}_2^\sigma(V_i, U_i) = 1$, то обнаружен эмпирический закон и его основание [11]. Если $0,8 \leq \tilde{\xi}_1^\sigma(Z_i, U_i) < 1$ и $0,8 \leq \tilde{\xi}_2^\sigma(V_i, U_i) < 1$, то обнаружена эмпирическая тенденция и ее основание.

Заметим, что аналогичные функции $\tilde{\xi}_2^\sigma(V_i, U_i)$ и $\tilde{\xi}_1^\sigma(Z_i, U_i)$ можно определить для $\sigma \in \{0, \tau\}$.

Сформулируем теперь явное определение эмпирических законов и эмпирических тенденций для эффекта, представимого константой Q [11]:

$$(\text{ЭЗ}) \forall Z (\hat{L}_1^\sigma(Z, Q) \leftrightarrow \exists n \exists s (((J_{(\tau, 2n-1)}(Z \Rightarrow_1 Q) \& \Pi_n^\sigma(Z, Q)) \rightarrow J_{(v, 2n)}(Z \Rightarrow_1 Q)) \& (\tilde{\xi}_1^\sigma(Z, Q) = 1) \& (\rho^\sigma \leq \rho^\sigma(s) \leq 1)), \text{ где } \llcorner \leftrightarrow \llcorner - \text{ логическая связка эквивалентности двухзначной логики, } \sigma \in \{+, -\},$$

$$v = \begin{cases} 1, & \text{если } \sigma = + \\ -1, & \text{если } \sigma = - \end{cases},$$

а ρ^σ – выбранный порог (естественно выбрать 0,8).

Основание ЭЗ формулируется следующим образом [11]:

$$(\text{ОЭЗ}) \forall V (\hat{L}_2^+(V, Q) \leftrightarrow \exists n \exists s (((J_{(\tau, 2n-2)}(V \Rightarrow_2 Q) \& M_{x,n}^+(V, Q) \& \neg M_{y,n}^-(V, Q)) \rightarrow J_{(1, 2n-1)}(V \Rightarrow_2 Q)) \& (\tilde{\xi}_2^+(V, Q) = 1) \& (\rho^+ \leq \rho^+(s) \leq 1)))$$

Аналогично определяется ОЭЗ $\hat{L}_2^-(V, Q)$ для отрицательных примеров эффекта Q.

В данном исследовании Q есть появление диабета панкреатогенного генеза ((+)-эффект) или отсутствие такового ((-)-эффект).

Определение эмпирических тенденций (ЭТ) и их оснований (ОЭТ) получим заменой равенств $\tilde{\xi}_1^\sigma(Z, Q) = 1$ и $\tilde{\xi}_2^\sigma(V, Q) = 1$ на соответствующие неравенства $0,8 \leq \tilde{\xi}_1^\sigma(Z, Q) < 1$ и $0,8 \leq \tilde{\xi}_2^\sigma(V, Q) < 1$, где $\sigma \in \{+, -\}$ (естественно выбрать порог = 0,8). Предикаты, представляющие ЭТ и ОЭТ, обозначаются посредством $\hat{L}_3^\sigma(Z, U)$ и $\hat{L}_4^\sigma(V, W)$ соответственно, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Наличие или отсутствие эмпирических закономерностей (ЭЗК – ЭЗ или ЭТ) представимо в таблицах типа Табл. 1 и Табл. 2. Результаты обнаружения ЭЗК и их медицинская интерпретация (выбор клинически осмысленных случаев) имеются в таблицах Приложений к данной статье.

Итогами исследования ДСМ-рассуждений для последовательности баз фактов является согласование обнаруженных эмпирических закономерностей и их оснований, а также выяснение адекватности используемых стратегий ДСМ-рассуждений [9, 11].

Для достижения этих целей вводится тернарные предикаты $G_n^\sigma(V, Z, W)$, где $\sigma \in \{+, -\}$, представления причины V , ее носителя Z и эффекта W , которым обладает Z и который вынуждается посредством V причины W [11]:

$$G_n^+(V, Z, W) = (J_{\langle 1, 2n-1 \rangle}(V \Rightarrow_2 W) \& J_{\langle 1, 2n \rangle}(Z \Rightarrow_1 W) \& (V \subset Z)),$$

$$G_n^-(V, Z, W) = (J_{\langle -1, 2n-1 \rangle}(V \Rightarrow_2 W) \& J_{\langle -1, 2n \rangle}(Z \Rightarrow_1 W) \& (V \subset Z)).$$

Можно также определить тернарный предикат $G_n^0(V, Z, W)$.

Если имеется соответствие между предикатами $G_n^\sigma(V, Z, W)$ и ЭЗК для последовательности вложенных баз фактов, то оно выражимо посредством предикатов, определяемых ниже:

$$L_{1,2}^\sigma(V, Z, W) = L_1^\sigma(Z, W) \& L_2^\sigma(V, W) \& (V \subset Z),$$

$$L_{3,4}^\sigma(V, Z, W) = L_3^\sigma(Z, W) \& L_4^\sigma(V, W) \& (V \subset Z).$$

Определим и тернарные отношения «семейство эмпирических законов» $L_{1,2}^\sigma$ и «семейство эмпирических тенденций» $L_{3,4}^\sigma$, где $\sigma \in \{+, -\}$:

$$L_{1,2}^\sigma = \{\langle V, Z, W \rangle \mid L_{1,2}^\sigma(V, Z, W)\},$$

$$L_{3,4}^\sigma = \{\langle V, Z, W \rangle \mid L_{3,4}^\sigma(V, Z, W)\}.$$

В Приложении представлены отношения $L_{1,2}^+$ и $L_{1,2}^-$ для соответствующих стратегий ДСМ-рассуждений $\text{Str}_{x,y}$. Интересны случаи, когда эти отношения образованы одним элементом. Это означает, что существует единственная причина (для данной $\text{Str}_{x,y}$) изучаемых эффектов – наличия или отсутствия у больных диабета панкреатогенного генеза.

Наличие или отсутствие ЭЗК определимо также посредством функций $\tilde{\eta}_1^\sigma(Z, U)$ и $\tilde{\eta}_2^\sigma(V, W)$ определяемых ниже [11].

Определим предварительно предикаты $\hat{C}_2^\sigma(V, W)$ и $\hat{C}_1^\sigma(Z, U)$, $\bar{C}_2^{\sigma 1}(V, W)$ и $\bar{C}_1^{\sigma 1}(Z, U)$, где $\sigma_1 \in \{+, -, 0, \tau\}$, $\sigma \in \{+, -\}$, следующим образом:

$$\hat{C}_2^+(V, W) = \exists p \exists q (\neg(p = q) \& \exists n (J_{\langle 1, n \rangle}(V \Rightarrow_2 W) \in \Delta^+(p)) \& \exists m (J_{\langle 1, m \rangle}(V \Rightarrow_2 W) \in \Delta^+(q))),$$

$$\hat{C}_1^+(Z, U) = \exists p \exists q (\neg(p = q) \& \exists n (J_{\langle 1, n \rangle}(Z \Rightarrow_1 U) \in \Omega^+(p)) \& \exists m (J_{\langle 1, m \rangle}(Z \Rightarrow_1 U) \in \Omega^+(q))).$$

Аналогично определяются $\hat{C}_2^\sigma(V, W)$ и $\hat{C}_1^\sigma(Z, U)$, где $\sigma \in \{-, 0, \tau\}$.

$$\bar{C}_2^+(V, W) = \exists p \exists n (J_{\langle 1, n \rangle}(V \Rightarrow_2 W) \in \Delta^+(p)),$$

$$\bar{C}_1^+(Z, U) = \exists p \exists n (J_{\langle 1, n \rangle}(Z \Rightarrow_1 U) \in \Omega^+(p)).$$

Аналогично определяются $\bar{C}_2^\sigma(V, W)$ и $\bar{C}_1^\sigma(Z, U)$, где $\sigma \in \{-, 0, \tau\}$.

Рассмотрим отношения $\hat{C}_2^\sigma = \{\langle V, W \rangle \mid \hat{C}_2^\sigma(V, W)\}$, $\hat{C}_1^\sigma = \{\langle Z, U \rangle \mid \hat{C}_1^\sigma(Z, U)\}$, $\bar{C}_2^\sigma = \{\langle V, W \rangle \mid \bar{C}_2^\sigma(V, W)\}$, $\bar{C}_1^\sigma = \{\langle Z, U \rangle \mid \bar{C}_1^\sigma(Z, U)\}$, где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$, а $|\bar{C}_j^\sigma|$, $|\hat{C}_j^\sigma|$ – числа элементов этих отношений $j=1, 2$.

Определим функционалы $\eta_j^\sigma = \frac{|\bar{C}_j^{\sigma 1}| + |\bar{C}_j^{\sigma 2}| + |\bar{C}_j^{\sigma 3}|}{|\hat{C}_j^\sigma|}$, где $\sigma \neq \sigma_h$, $h = 1, 2, 3$; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ различны и $\sigma, \sigma_h \in \{+, -, 0, \tau\}$, так что для каждой пары $\langle C, Q \rangle \in \hat{C}_j^\sigma$ вычисляются $|\hat{C}_j^\sigma|$, $|\bar{C}_j^{\sigma 1}| + |\bar{C}_j^{\sigma 2}| + |\bar{C}_j^{\sigma 3}|$. Тогда

$$\tilde{\eta}_2^\sigma = \begin{cases} 1 - \eta_2^\sigma, & \text{если } |\hat{C}_2^\sigma| > |\bar{C}_2^{\sigma 1}| + |\bar{C}_2^{\sigma 2}| + |\bar{C}_2^{\sigma 3}| \\ \#, & \text{если } |\hat{C}_2^\sigma| \leq |\bar{C}_2^{\sigma 1}| + |\bar{C}_2^{\sigma 2}| + |\bar{C}_2^{\sigma 3}| \end{cases},$$

где # означает, что функционал $\tilde{\eta}_2^\sigma$ в этом случае не определен.

Имеет место Утверждение 7-3 из [11]: $\forall V \forall W ((\xi_j^\sigma(V, W)=1) \rightarrow (\tilde{\eta}_j^\sigma=1))$ и $(\tilde{\eta}_j^\sigma=1) \rightarrow \exists V \exists W (\xi_j^\sigma(V, W)=1)$, где $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$, $j=1, 2$, а ξ_j^σ – функции, а $\tilde{\eta}_j^\sigma$ – функционалы.

Аналогично определяются функционалы $\tilde{\eta}_1^\sigma$. В силу определения $\hat{C}_j^\sigma$ $|\hat{C}_j^\sigma| > 0$, равенства $\tilde{\eta}_1^\sigma=1$ характеризуют эмпирические законы, а равенства $\tilde{\eta}_2^\sigma=1$ характеризуют их основания ($\sigma \in \{+, -\}$).

Если же $0,8 \leq \tilde{\eta}_j^\sigma < 1$, где $\sigma \in \{+, -\}$, а $j = 1, 2$, то функционалы $\tilde{\eta}_j^\sigma$ характеризуют эмпирические тенденции и их основания. В Приложении представлены таблицы для функционалы $\tilde{\eta}_j^\sigma$.

Для обнаружения ЭЗК в последовательностях расширяемых (вложенных) баз фактов используется множество стратегий $\text{Str}_{x,y}$ ДСМ-рассуждений таких, что М-предикаты и п.п.в.-1 (правила

индуктивного вывода) образуют, соответственно, дистрибутивные решетки [9]. Поэтому одним из итогов исследования посредством ДСМ-рассуждений и ИС-ДСМ является установление отображения $\dot{g}$ множества стратегий $\overline{\text{Str}}$ на множество обнаруженных ЭЗК $\dot{L}_{1,2} \cup \dot{L}_{3,4}$ [11], которые есть объединение ЭЗ и ЭТ $\dot{L}_{1,2} \cup \dot{L}_{3,4} \subseteq 2^{U_s^{(1)}} \times 2^{U_s^{(1)}} \times 2^{U_s^{(2)}}$, так как ЭЗК определяются посредством $\dot{L}_{1,2}(V, Z, W)$ и $\dot{L}_{3,4}(V, Z, W)$, где $\dot{L}_{1,2}(V, Z, W) = \dot{L}_{1,2}^+(V, Z, W) \cup \dot{L}_{1,2}^-(V, Z, W)$ и $\dot{L}_{3,4}(V, Z, W) = \dot{L}_{3,4}^+(V, Z, W) \cup \dot{L}_{3,4}^-(V, Z, W)$ (напомним, что $U_s^{(1)}$ и $U_s^{(2)}$ – исходные множества для объектов (подобъектов) и свойств соответственно).

Таким образом, определим отображение $\dot{g}$ множества $\overline{\text{Str}}$ на множество $\dot{L}_{1,2} \cup \dot{L}_{3,4} \cup \{\Lambda\}$, где Λ – пустое отношение: $\dot{g}: \overline{\text{Str}} \rightarrow \dot{L}_{1,2} \cup \dot{L}_{3,4} \cup \{\Lambda\}$, $\dot{g}(\text{Str}_{x,y}) = \Gamma$, где $\Gamma \subseteq \dot{L}_{1,2} \cup \dot{L}_{3,4}$ или $\Gamma = \Lambda$.

Очевидно, что определимо и обратное отображение $\dot{g}^{-1}$ множества ЭЗК в множество $\overline{\text{Str}}$. $\dot{g}^{-1}: \dot{L}_{1,2} \cup \dot{L}_{3,4} \rightarrow \overline{\text{Str}}$, где $\dot{g}^{-1}(V, Z, W) = S$, $S \subseteq \overline{\text{Str}}$.

Таблицы соответствия $\overline{\text{Str}}$ и множества ЭЗК представлены в Приложении.

Так как компоненты ДСМ-рассуждений – индукция (п.п.в.-1), аналогия (п.п.в.-2) и абдукция, то они являются **правдоподобными рассуждениями**. Следовательно, гипотезы, порожденные ДСМ-рассуждением могут не быть истинными. Это означает наличие ошибок, которые могут быть охарактеризованы по «степени вредности», что важно для выбора и практического применения стратегий ДСМ-рассуждений.

Для практического применения ДСМ-рассуждений в ИС-ДСМ требуется выбрать адекватные $\text{Str}_{x,y}$ для получения гипотез о ($\pm$)-причинах, а также для распознавания ЭЗК и предсказания изучаемых эффектов, имеющих начальную оценку «неопределенность» (тип истинностного значения τ) и заданных посредством $\Omega_{0,0}^{\tau}$ ($\Omega_{0,0}^{\tau} = \Omega^{\tau}(0)$).

Пусть $|\Omega_{0,0}^{\tau}| = m_0$, а функция степени предсказуемости $\mu(s) = 1 - \frac{|\Omega^{\tau}(s)|}{|\Omega^{\tau}(0)|}$, где $\mu(s)$ определена для $\text{Str}_{x,y}$ (то есть, $\mu(s)$ есть $\mu_{x,y}(s)$), пусть далее, для $\text{Str}_{x,y}$ l_0, a, b, c обозначают числа правильных предсказаний, грубых ошибок, ошибок и отказов (от предсказаний), соответственно: a – число ошибок, когда получена оценка «1» вместо «-1» и «-1» вместо «1», b – число ошибок, когда «0» получен вместо «1» или вместо «-1»; c – число отказов, когда получены гипотезы-предсказания с типом истинностного значения τ .

Правильные предсказания, имеющие верификацию, представлены высказываниями с истинностными значениями $\bar{v} = \langle v, n_s \rangle$, где $v \in \{1, -1\}$. Множество этих высказываний обозначим посредством Ω_t , где $|\Omega_t| = l_0$, $0 \leq l_0 \leq m_0$, а $m_0 = |\Omega_{0,0}^{\tau}| \geq |\Omega_t| = l_0$. Тогда $m_0 = l_0 + (a + b + c)$, $\frac{l_0}{m_0} = 1 - \frac{a+b+c}{m_0}$, где $\frac{l_0}{m_0}$ – степень **достоверного** предсказания посредством ДСМ-рассуждения [11].

В соответствии с отображением $\dot{g}$ формируется Таблица, имеющая входы для $\text{Str}_{x,y}$ и входы для ЭЗК и l_0, a, b, c (числа достоверных предсказаний и типы ошибок, соответственно). Эта таблица представлена в Приложении №13.

Очевидно, что $\mu(s) = \frac{l_0}{m_0} + \frac{a+b+c}{m_0} - \frac{|\Omega^{\tau}(s)|}{m_0}$, а $\mu(s)$ определяется для каждой $\text{Str}_{x,y}$. Посредством отображения $\dot{g}$, $\mu(s)$ и типов ошибок можно сделать выбор $\text{Str}_{x,y}$, посредством которых порождается ЭЗК [11].

В [12] Д.С. Милль, характеризуя отношения «причина-следствие», замечает, что совокупность обстоятельств будет причиной некоторого явления (следствия), если не имеется препятствий. Однако эта идея не была выражена в его пяти индуктивных методах. Уточнение этой идеи было осуществлено в [13] (Глава 2, Об обобщенном ДСМ-методе автоматического порождения гипотез, стр. 192-213). Мысль Д.С. Милля означает, что отношение причинности может быть **тернарным**; V есть причина W , если не имеется препятствий из множества $\mathfrak{X}$.

В [13] были определены тернарные предикаты сходства $M_{ag,n}^{\sigma}(V, \mathfrak{X}, W)$ для (+)- и (-)-примеров соответственно, а также предложены правила правдоподобного индуктивного вывода с предикатами $M_{ag,n}^{\sigma}(V, \mathfrak{X}, W)$, где $\mathfrak{X}$ – переменная для множества тормозов (препятствий) причины V , вы-

нуждающей эффект W . В [14а] сформулировано новое определение предикатов $M_{ag,n}^{\sigma}(V, \mathfrak{X}, W)$, где $\sigma \in \{+, -\}$, использующее предикат $b^{\sigma}(V, Z)$ – « Z – тормоз V », а в [14] были предложены условия (тесты) для распознавания обобщенного ДСМ-метода с предикатами $M_{ag,n}^{\sigma}(V, \mathfrak{X}, W)$. Сформулируем эти тесты:

$$(T_1^{(+)}) \exists m \exists V \exists X \exists Y (J_{(1,0)}(X \Rightarrow_1 Y) \& J_{(-1,m)}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X))$$

$$(T_1^{(-)}) \exists m \exists V \exists X \exists Y (J_{(-1,0)}(X \Rightarrow_1 Y) \& J_{(1,m)}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X))$$

Имеются усиления $(T_1^{(\sigma)})$:

$$(T_2^{(+)}) \exists n \exists m \exists V \exists Z \exists X \exists Y (J_{(1,0)}(X \Rightarrow_1 Y) \& J_{(-1,m)}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X) \& J_{(1,n)}(Z \Rightarrow_2 Y) \& (Z \subset X)).$$

Аналогично формулируется $(T_2^{(-)})$.

Следующие утверждения имеют место:

Утверждение 1.

$\forall V \forall W \forall \mathfrak{X} ((\neg(\mathfrak{X} = \emptyset) \& M_{ag,n}^{\sigma}(V, \mathfrak{X}, W)) \rightarrow \neg M_{ab,n}^{\sigma}(V, W))$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Из Утверждения 1 следует естественная потребность разбиения исходных баз фактов на подмножества такие, что применимы предикаты $M_{ab,n}^{\sigma}(V, W)$ или $M_{ag,n}^{\sigma}(V, \mathfrak{X}, W)$. Это означает расширения множества стратегий ДСМ-рассуждений, что создает большие возможности для обнаружения ЭЗК.

Применение ДСМ-рассуждений в настоящем исследовании позволило установить факт выполнимости теста на обобщенный ДСМ-метод, что означает возможность нового исследования с разбиением исходных баз фактов, упомянутого выше. В Приложении №3 содержатся результаты теста на применимость обобщенного ДСМ-метода ($M_{ag,n}^{\sigma}(V, \mathfrak{X}, W)$).

2. Значение компьютерной поддержки принятия решений в диагностике осложнений хронического панкреатита

Большая часть неэндокринной патологии поджелудочной железы (ПЖ) представлена тремя заболеваниями: острый панкреатит, хронический панкреатит и рак ПЖ [19]. Основными клиническими синдромами, наблюдаемыми при поражении ПЖ различной этиологии являются: болевой, внешнесекреторной панкреатической недостаточности, внутрисекреторной недостаточности ПЖ. Кроме того, выделяют синдром билиарной гипертензии, признаки сегментарной портальной гипертензии, нарушение проходимости верхних отделов желудочно-кишечного тракта, симптомы поражения центральной нервной системы, воспалительные, в том числе и гнойно-септические поражения ПЖ [20].

Осложнения при хроническом панкреатите (ХП) различны по своему генезу, что обусловлено временем их появления. Кисты, псевдокисты, тромбоз селезеночной вены, экссудативный плеврит, асцит относятся к ранним осложнениям. Кальциноз ПЖ, псевдотуморозный панкреатит, сахарный диабет (СД) относят к поздним осложнениям [21].

Связь СД и рака ПЖ впервые была установлена в 1991 году [22] и до настоящего времени механизмы этой взаимосвязи окончательно не выявлены [23-25].

Самая высокая частота осложнений ХП встречается при алкогольном панкреатите, в сравнении с другими этиологическими формами заболевания. Появление осложнений существенно отражается на течении болезни: изменяется характер и степень выраженности клинических проявлений, что во многих случаях меняет тактику лечения больных.

На состояние пациента могут оказывать влияние определенные факторы не только по отдельности, но и в определенных сочетаниях. Обработать большое количество информации и выявить закономерности врачу-клиницисту зачастую не под силу. Поэтому с развитием и совершенствованием информационных технологий актуальной является проблема обеспечения компьютерной поддержки принятия решений в диагностике и лечении [26].

За последнее время на помощь практикующему врачу все чаще приходят математические методы анализа, математическое моделирование патологических процессов [27, 28].

3. Представление данных в интеллектуальной системе

Особенностью настоящего компьютерного исследования является возможность использование новых логических средств для впервые предоставленных нам вложенных баз фактов (БФ). Эмпирические закономерности (эмпирические законы и тенденции) [11] устанавливаются относительно последовательности баз фактов ($БФ_{0,0} \subset БФ_{0,1} \subset БФ_{0,2}$) и стратегии Str_{xy} посредством проверки сохранения истинностных значений порождаемых гипотез в последовательности БФ и абдуктивной сходимости. Следующей задачей новой версии системы являлось подтверждение монотонно возрастающей предсказательной силы ДСМ-рассуждений, а также определение степени предсказуемости относительно исходного множества неопределенностей и оценки качества порождаемых гипотез.

Для возможности применения ИС ДСМ к конкретной задаче необходима настройка на предметную область [15], включающая следующее:

1. разработку языка представления данных; определение понятия «объект» и «свойство» в терминологии ДСМ-метода; задание операции сходства; задание отношения вложения.

Первым этапом совместной работы была разработка подсистемы представления знаний и создание БФ - одной из составных частей ИнтДСМ. Атрибутами этой БФ являются сведения о больных, представленные в медицинских картах и описанные в соответствии с разработанным языком представления данных.

Врач перечисляет все возможные признаки описания больного или описания конкретного анализа больного, по которым надо сделать прогноз наличия или отсутствия сахарного диабета панкреатогенного генеза. Задача врача - предоставить достаточное количество примеров положительного и отрицательного типа в терминологии ДСМ-метода, а также не пропустить значимых для диагноза признаков. Задача разработчиков системы - структурировать эти признаки таким образом, что к ним было возможно применять операцию сходства и определить отношение вложения.

Для задачи прогнозирования сахарного диабета панкреатогенного генеза были выделены следующие признаки-атрибуты: возраст больного, индекс массы тела, вредные привычки (алкоголь и табакокурение), длительность заболевания, наличие хронического кальцифицирующего панкреатита, вирусного гепатита, панкреатическая гипертензия, резекционные или дренирующие операции в анамнезе, панкреонекрозы в анамнезе, гликемический профиль, уровень с-пептида, изменение размеров поджелудочной железы, концентрации гастроинтестинальных гормонов в периферической крови (ГИП, ВИП, соматостатин, секретин, гастрин), наличие развернутой клинической картины сахарного диабета и т.д. (всего 39 признаков). В БФ выполняются требования структурированности данных. Эффективность анализа результатов различных исследований зависит от максимально полного описания обследований больного.

При анализе этих многочисленных медицинских фактов, представленных в БФ, из всех возможных типов данных, описанных в [15], был выбран один тип данных (№1), а именно: указывается **один из возможных качественных признаков, представленных списком:**

$EI^{(1)} = At_i, \quad i \in \{1, \dots, n\}$, n -число признаков в списке.

Пример 1.

Резекционные операции в анамнезе

At_1 - ГПДР

At_2 - ПДР

At_3 - дистальная резекция

At_4 - операция по Бегеру

Пример 2.

Индекс массы тела

At_1 - 16 и меньше - выраженный дефицит массы

At_2 - 16,1-18,5 недостаток (дефицит) массы тела

At_3 - 18,5-25 - норма

At_4 - 25,1-30 избыточная масса тела

И т.д.

Пример 3.

Глюкозозависимый инсулиотропный пептид (ГИП)

At_1 - меньше 0,002 единицы измерения

At_2 - 0,002-2

At_3 - 2-4

At_4 - 4-6

Таким образом, был создан язык представления медицинских данных, разработаны программы ввода медицинской информации. Полученная система содержит автоматизированные истории болезни пациентов. Форма ввода медицинских данных очень удобна для врача. Можно просматривать БФ, добавлять информацию о заболевании, по мере ее получения, дополнительно включать результаты различных исследований. При необходимости возможно наполнение БФ новыми терминами и понятиями.

2. В нашей задаче объект представляет собой упорядоченный набор из 39 клинических, инструментальных и лабораторных признаков.

$O_i = \langle EI_1, \dots, EI_{39} \rangle$

Каждый элемент этого кортежа соответствует конкретному признаку.

Свойство в данном случае одно – сахарный диабет панкреатогенного генеза.

3. Операция сходства определяется поэлементно.

$O' = \langle EI'_1, EI'_2, \dots, EI'_{39} \rangle$

$O'' = \langle EI''_1, EI''_2, \dots, EI''_{39} \rangle$,

$O' \cap O'' = \langle EI'_1 \cap EI''_1, EI'_2 \cap EI''_2, \dots, EI'_{39} \cap EI''_{39} \rangle$

Для выбранного типа данных (№1) результатом операции сходства является совпадение признаков.

$EI^{(1)'} = At_i$

$EI^{(1)''} = At_i$

$$EI^{(1)'} \cap EI^{(1)''} = \begin{cases} At_i, \text{ если } At_i = At_j \\ \Lambda \text{ иначе} \end{cases}$$

(4) Отношение вложения также определяется поэлементно:

$O' = \langle EI'_1, EI'_2, \dots, EI'_n \rangle$

$O'' = \langle EI''_1, EI''_2, \dots, EI''_n \rangle$,

$O' \subseteq O'' \Leftrightarrow EI'_1 \subseteq EI''_1 \& EI'_2 \subseteq EI''_2 \& \dots \& EI'_{31} \subseteq EI''_{31}$

Отношение вложения для элементов зависит от типа данных.

Т.к. был выбран тип данных №1 вложение равносильно совпадению значений атрибутов.

$EI^{(1)'} = At_i$,

$EI^{(1)''} = At_i$

$EI^{(1)'} \subseteq EI^{(1)''} \Leftrightarrow At_i = \Lambda \vee At_i = At_j$

4. Интеллектуальная система и результаты исследований

4.1. Данные и выбранные методы

Данными для исследования послужил массив больных диабетом. Этот массив уже использовался для исследований в [4]. (+)-примерами в нашем исследовании являлись пациенты, у которых был поставлен диагноз сахарный диабет панкреатогенного генеза - «свойство» в терминологии ДСМ-метода. (-)-примерами – пациенты, у которых не был поставлен диагноз диабет или был поставлен диагноз диабет не панкреатогенного генеза.

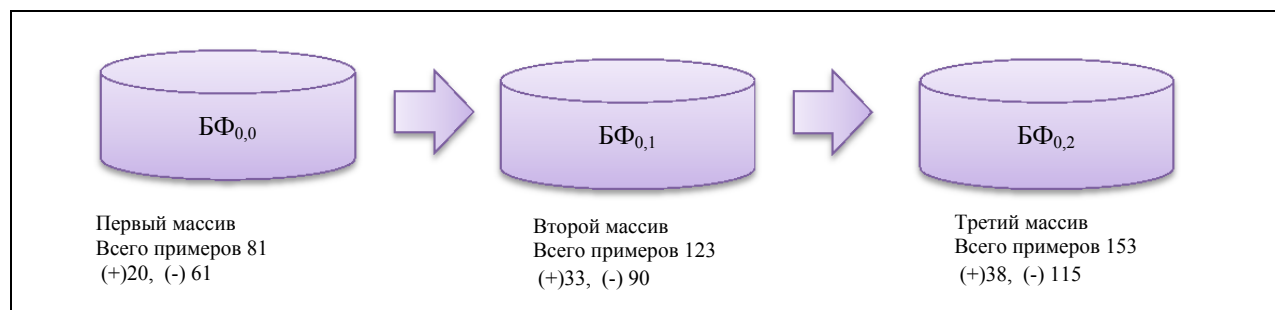
Массив представляет собой три последовательных расширения базы фактов $БФ_{0,0} \subset БФ_{0,1} \subset БФ_{0,2}$.

$БФ_{0,0}$ содержит данные обследования 81 больного ($\pm$ -факты), из них 20-ть были (+)-примерами, а 61 – (-)-примерами. На прогноз были представлены данные о 10 больных (Примеры представлены в Приложении 7а).

БФ_{0,1} содержит данные обследования 123-х больных (к обучающей выборке из 81 больного были присоединены данные о 42-х больных ($\pm$ -факты). Из них 33-ть были (+)-примерами, а 90 – (–)-примерами. На прогноз были представлены данные о тех же 10 больных.

БФ_{0,2} содержит данные обследования 155 больных (к обучающей выборке из 123-х больных были присоединены данные о 3-ти больных ($\pm$ -факты). Из них 38-мь были (+)-примерами, а 115 – (–)-примерами. На прогноз были представлены данные о тех же 10 больных (Табл. 3).

Табл. 3. Расширения массива данных



Для дальнейшего исследования были выбраны стратегии $Str_{x,y}$, где $x,y \in \{a^\sigma, (ab)^\sigma, (ad_0)^\sigma, (ad_0b)^\sigma\}$, которые формируют решетки интенционалов и экстенционалов для правил индуктивного вывода $(I)^\sigma$, $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$ (подробнее о решетках правил индуктивного вывода в [9]).

В Табл. 4 и Табл. 5 приведем перечень используемых стратегий с порядковыми номерами, которые будем использовать для удобства как ссылки на соответствующие стратегии.

Табл. 4. Список используемых стратегий

1) $Str_{a,a}$,	5) $Str_{a,ab}$,	9) Str_{a,ad_0} ,	13) Str_{a,ad_0b} ,
2) $Str_{ab,a}$,	6) $Str_{ab,ab}$,	10) Str_{ab,ad_0} ,	14) Str_{ab,ad_0b} ,
3) $Str_{ad_0,a}$,	7) $Str_{ad_0,ab}$,	11) Str_{ad_0,ad_0} ,	15) Str_{ad_0,ad_0b} ,
4) $Str_{ad_0b,a}$,	8) $Str_{ad_0b,ab}$,	12) Str_{ad_0b,ad_0} ,	16) Str_{ad_0b,ad_0b}

В проведенных исследованиях использовались экспериментально подобранные значения параметра k - числа минимального количества сходных примеров.

Табл. 5. Перечень используемых значений для числа сходных примеров

$Str_{x,y}$	Число сходных примеров для положительных примеров k^+ / Число сходных примеров для отрицательных примеров k^-	$Str_{x,y}$	Число сходных примеров для положительных примеров k^+ / Число сходных примеров для отрицательных примеров k^-
1	18/45	9	15/45
2	15/45	10	15/45
3	18/45	11	15/45
4	15/45	12	15/45
5	15/24	13	15/22
6	15/24	14	15/22
7	15/24	15	15/22
8	15/24	16	15/22

Объясняемость, полученная в каждом из исследований, приведена в Приложении 3.

4.2. Реализация ИС-Системы

Для исследования использовалась система, разработанная в ВИНТИ РАН О. П. Шестерниковой (продолжение работы, описанной в [16]). Система была написана на языке программирования C# 5.0 с использованием платформы .Net Framework и технологии WPF и представляет собой толстое клиентское приложение для работы на локальной машине.

Приложение реализует основные логические части ИС: решатель задач, БФ+БЗ, интерфейс. Решатель и интерфейс являются отдельными программными модулями (сборками). БФ представляет собой данные в формате, разработанном в ВИНТИ РАН. БЗ создается в памяти во время работы программы (run-time), но может быть сохранена в файл для последующей загрузки для просмотра и анализа. Кроме основных частей, в систему был добавлен отдельный модуль для работы с гипотезами 1ого и 2ого рода, включающий процедуры для анализа ЭЗК, описанные в [11].

4.3. Ход исследования

Для каждой стратегии все гипотезы, полученные в исследованиях с каждым из трех расширений базы фактов, были сгруппированы по последовательности полученных оценок истинностных значений σ , $\sigma \in \{+, -, 0, \tau\}$. Например, в одну группу попали гипотезы, получившие при эксперименте с первым массивом оценку « τ » (неопределенность), со вторым массивом – оценку « $+$ » (фактическая истина, «1»), а с третьим – оценку «0» (фактическое противоречие). Такие группы будем называть «цепочками». В [11] им соответствует множество $\pi_i^{(2)}$. Таким образом, для каждой стратегии $\text{Str}_{x,y}$ формируем Табл. 6.

Табл. 6. «Цепочки» истинностных значений для гипотез о причинах для стратегии $\text{Str}_{a,a}$

#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во
1	+	+	+	1
2	0	0	0	1
3	-	-	-	5
4	+	0	0	2
5	τ	0	0	13
6	τ	-	-	54
7	τ	+	+	540
8	τ	-	0	1
9	τ	τ	0	1
10	τ	+	0	24
11	τ	τ	-	203
12	τ	τ	+	1682

Каждой группе гипотез в таблице соответствует строка – набор истинностных значений, которые гипотеза принимает в эксперименте с каждым из последовательных массивов расширения. В последней колонке указывается количество гипотез в такой группе. Описанные выше «цепочки» можно составить как для гипотез о причинах (вида $V \Rightarrow_2 W$), так и для гипотез о доопределениях (вида $X \Rightarrow_1 Y$).

Заметим, что для всех гипотез, принадлежащих одной группе, значения функций сохранения истинностных значений $\tilde{\xi}_i^\sigma$ ($\sigma \in \{+, -\}$, $i=1,2$) будут одинаковы. Полный список полученных «цепочек» и значения функций сохранения истинностных значений $\tilde{\xi}_i^\sigma$ приведены в Приложениях 1 и 2.

С помощью полученных таблиц легко составить список эмпирических законов (ЭЗ) – им соответствуют «цепочки», в которых истинностные значения одинаковы для всех трех расширений базы фактов (следует из [11], раздел 3, Утверждение 1-3).

Обратим внимание, что для ЭЗ функция ξ_i^σ соответствующего знака будет равна 1, а характеристики ξ_i^σ других знаков будут неопределены.

Для фиксированной стратегии $\text{Str}_{x,y}$ также был посчитан функционал $\tilde{\eta}_i^\sigma$ (Приложение 4).

Далее, мы работали только с полученным массивом ЭЗ. В него вошли 30 положительных гипотез о причинах (ЭЗ⁺) и 35 отрицательных гипотез о причинах (ЭЗ⁻). В Приложениях 5, 6 представлены таблицы соответствия отобранных ЭЗ и стратегий, которыми они были получены. В Приложениях 7, 8 приведены примеры ЭЗ, наиболее интересные на взгляд авторов.

Итоговыми таблицами исследования стали таблицы, иллюстрирующие согласованность ЭЗ и ее основания для каждой из стратегий (иллюстрируют предикат $\dot{L}_{1,2}^\sigma$, $\sigma \in \{+, -\}$). Выдержки из этих таблиц для некоторых стратегий приведены в Приложениях 12, 13. Согласованность в этих таблицах представлена парой $X \Rightarrow_1 Y$ и $V \Rightarrow_2 W$, такой, что выполняется предикат $\dot{L}_{1,2}^\sigma(X, V, W)$. Заметим, что, после предоставления информации о диагнозах 10 пациентов, поставленных на предсказание, появилась возможность провести верификацию предсказания. Эта верификация также отражена в таблицах Приложений 12, 13 в последней колонке.

Для оценки выбранных стратегий была сформирована таблица с типами ошибок ([11], раздел 3, Таблица 6). Она представлена в Приложении 14 с сортировкой по количеству правильных доопределений (l_0).

Список отобранных ЭЗ о причинах был предъявлен для анализа экспертам. Каждую ЭЗ предлагалось оценить по надежности числовой оценкой от «4» до «1», где наибольшая оценка означала, что гипотеза представляется наиболее состоятельной, средние оценки – что отобранные признаки могут иметь место, но неоднозначно свидетельствуют о наличии диабета с осложнением, а наименьшая оценка означала, что гипотеза не имеет смысла.

В ходе исследования возникло предположение о возможной успешной применимости обобщенного ДСМ-метода к массиву данных. На последовательных расширениях данных был проведен тест на обобщенный метод [14, 14a], результаты которого подтвердили предположение (результаты в Приложении 4).

4.4. Наблюдения на основе полученных таблиц

1. Для ЭЗ⁺ есть гипотеза (№694862), встречающаяся почти во всех стратегиях (кроме стратегий (1) и (3)). Заметим, что в тех стратегиях, в которых не встречается эта гипотеза, присутствует ее усеченный вариант – без одного признака (№154401). Также отметим, что гипотеза №694862 получена самой сильной стратегией (по положению в решетке), экспертом ей дана наивысшая оценка.

2. Для стратегий с $M_{abd0,n}^-$ (наиболее сильным из выбранных $M_{y,n}^-$ -предикатов) нет ЭЗ⁻; для остальных стратегий нет ЭЗ⁻, встречающихся во всех стратегиях.

3. Тест на обобщенный метод показывает, что все (+)-примеры могут быть объяснены (-)-законами, в то время как объяснимость (-)-примеров (+)-законами варьируется от 1% до 72%.

4. При оценке отобранных гипотез экспертом всего одна ЭЗ получила наименьшую оценку (ЭЗ⁻ №117182315).

5. Средняя оценка эксперта для ЭЗ⁺ выше средней оценки для ЭЗ⁻ (**2,70 vs 2,37**)

6. Таблица для применяемого множества стратегий показывает, что наибольшее количество правильных доопределений получено стратегиями (6)(Str_{ab,ab}), (8)(Str_{ad0b,ab}). Стратегии (13)(Str_{a,ad0b}), (15)(Str_{ad0,ad0b}) дают наибольшее количество «грубых» ошибок.

Заключение

Логические средства для обнаружения эмпирических закономерностей (ЭЗК) в интеллектуальных системах посредством ДСМ рассуждений были рассмотрены в [11]. В настоящей статье экс-

периментально продемонстрирована эффективность этой формализации для решения задачи предсказания развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом.

Для обнаружения ЭЗК необходимо рассматривать последовательность расширяемых баз фактов $БФ_{0,0}, \dots, БФ_{0,s}$ такую, что последняя $БФ_{0,s}$ имеет приемлемую объясняемость (+)- и (-)-фактов (это означает, что $\rho^\sigma \leq \rho^\sigma(s) \leq 1$, где ρ^σ - заданные пороги, а $\sigma \in \{+, -\}$).

Гипотезы о причинах изучаемого эффекта и гипотезы его предсказания, образующие отношения из $\dot{L}_{1,2} \cup \dot{L}_{3,4}$ можно считать интересными гипотезами по аналогии с интересными гипотезами, определяемыми в [17] П. Гаеком и Т. Гавранеком.

Важно отметить, что исходные данные об эффекте развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом являются результатом систематического исследования в Первом гастроэнтерологическом отделении Центрального НИИ гастроэнтерологии Департамента здравоохранения г. Москвы Л.В. Винокуровой и М.А. Агафоновым [4].

Применение же ДСМ-рассуждений и ИС-ДСМ явилось автоматизированной поддержкой проводимых исследований, посредством которой были обнаружены **новые знания** - эмпирические закономерности, подучившие клиническую интерпретацию, в силу чего они могут быть включены в базу знаний интеллектуальной системы (ИС-ДСМ). Следовательно, полученные результаты могут использоваться в клинической практике.

Заметим также, что ДСМ-метод, применяемый в настоящем исследовании реализуется в соответствии со схемой эволюционной эпистемологии [2] – P1-ТТ-ЕЕ-P2, где P1 – проблема обнаружения развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом, ТТ – применяемые логические средства (они осуществляют анализ данных, предсказания и объяснение), ЕЕ – исправление ошибок и коррекция применяемых логических и алгоритмических средств, P2 – новая проблема - разбиение массивов исходных данных ($БФ_{0,0}, \dots, БФ_{0,s}$) на такие, к которым применимы $M_{ab,n}^\sigma(V, W)$ и $M_{ag,n}^\sigma(V, \mathfrak{X}, W)$, соответственно ($\sigma \in \{+, -\}$).

Таким образом, ДСМ-метод, содержащий ИС-ДСМ осуществляет **рост знания** (knowledge discovery) согласно [2], а потому ДСМ-метод является методом **автоматизированной поддержки научных исследований** (в настоящей статье – клинических медицинских исследований). В силу сказанного ДСМ-метод АПНИ является нестатистическим методом доказательной медицины [18], обладающим возможностью извлекать из увеличивающихся (динамических) массивов клинических данных устойчивые эмпирические закономерности, а ИС-ДСМ – компоненты ДСМ-метода – являются партнерскими человеко-машинными системами.

Литература

1. Арский Ю.М., Финн В.К. Принципы конструирования интеллектуальных систем//Информационные технологии и вычислительные системы, №4, 2008, с.4-7.
2. Поппер К.Р. Объективное знание. Эволюционный подход. – М.: Эдиториал УРСС, 2002.
3. Финн В.К. Эпистемологические основания ДСМ-метода автоматического порождения гипотез. Часть I // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2013. - №9. – С. 1-29; Финн В.К. Эпистемологические основания ДСМ-метода автоматического порождения гипотез. Часть II // Там же, 2013. - №12. – С. 1-26;
4. Винокурова Л.В., Агафонов М.А., Варварина Г.Г., Финн В.К., Панкратова Е.С., Добрынин Д.А. Применение интеллектуальной системы типа ДСМ для анализа клинических данных//Российский биотерапевтический журнал, №3, 2014, с.57-60.
5. Kapitan T. Peirce and the Autonomy of Adductive Reasoning // Erkenntnis. – 1992. – Vol. 37.
6. Rosser J.B., Turquette A.R. Many-Valued Logics. – North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1958.
7. 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.
8. Аншаков О.М., Скворцов Д.П., Финн В.К. О дедуктивной имитации некоторых вариантов ДСМ-метода автоматического порождения гипотез//В кн.: ДСМ-метод автоматического порождения гипотез: Логические и эпистемологические основания. Под общей редакцией О.М. Аншакова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. С. 240-286.
9. В.К. Финн Дистрибутивные решетки индуктивных процедур. Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2014. - №11. – С. 1-30;
10. Финн В.К. Об определении эмпирических закономерностей посредством ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. - №4. – С. 41-48.

11. Финн В.К. Обнаружение эмпирических закономерностей в последовательностях баз фактов посредством ДСМ-рассуждений//Научно-техническая информация, Сер. 12, №8, 2015, с.1-29.
12. Милль Д.С. Система логики силлогистической и индуктивной. Издание пятое. – М.: ЛЕНАНД, 2011;
13. Финн В.К. Об обобщенном ДСМ-методе автоматического порождения гипотез// В кн.: ДСМ-метод автоматического порождения гипотез: Логические и эпистемологические основания. Под общей редакцией О.М. Аншакова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009, с. 192-213.
14. Финн В.К., Михеенкова М.А. Некоторые проблемы обобщенного ДСМ-метода автоматического порождения гипотез//Семиотика и информатика, Выпуск 33, 1993, с.136-163.
- 14а. Финн В.К., Шестерникова О.П. О новом варианте обобщенного ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований. Искусственный интеллект и принятие решений //№1, 2016 в печати.
15. Панкратова Е.С., Виноградов Д.В. Формальное описание настройки интеллектуальных ДСМ-систем // Научно-техническая информация. Сер.2. – 2011. – № 9. – С.1-5.
16. Волкова А.Ю., Шестерникова О.П. О создании интеллектуальных систем реализующих ДСМ-метод автоматического порождения гипотез, и результатах их применения для анализа медицинских данных // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2012. - №5. – С. 10-15
17. Гаек П., Гавранек Т. Автоматическое образование гипотез. Математические основы общей теории//М.: «Наука», главная редакция физико-математической литературы, 1984.
18. Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины../М.: «Медиа Сфера», 1998.
19. Губергриц Н.Б., Казюлин А.Н. Метаболическая панкреатология. 2011 «Лебедь», Донецк 460С.
20. Данилов М.В., Федоров В.Д. Повторные и реконструктивные операции при заболеваниях поджелудочной железы. 2003 «Медицина», Москва 423С
21. Schneider A. The M-ANNHEIN – classification of chronic pancreatitis: Introduction of a unifying classification system based on review of previous classification of the disease / A.Schneider, J.M.Lohr, M.V.Singer // J.Gastroenterol. – 2007. – Vol.42. – P.101 – 119.
22. Adami, H. O., McLaughlin, J., Ekblom, A., Berne, C., Silverman, D., Hacker, D., & Persson, I. (1991). Cancer risk in patients with diabetes mellitus. Cancer Causes & Control, 2(5), 307-314.
23. Pang, W., & Yuan, Y. (2014). New perceptions of interrelationship between pancreatic cancer and diabetes. Am J Digest Dis, 1(1), 37-43.
24. Zhang, C., Yang, G., Ling, Y., Chen, G., & Zhou, T. (2014). The early diagnosis of pancreatic cancer and diabetes: what's the relationship?. Journal of gastrointestinal oncology, 5(6), 481
25. Magruder, J. T., Elahi, D., & Andersen, D. K. (2011). Diabetes and pancreatic cancer: chicken or egg?. Pancreas, 40(3), 339-351.
26. Литвин А.А., Реброва О.Ю. Системы поддержки принятия решений на основе искусственных нейронных сетей в диагностике и лечении острого панкреатита: обзор литературы. Вестник Клуба Панкреатологов, 2015, 1(26), 4 – 8.
27. Михайлова И.Н., Панкратова Е.С., Добрынин Д.А. и др. О применении интеллектуальной компьютерной системы для анализа клинических данных больных меланомой // Российский биотерапевтический журнал. – 2010.- Т.9.- №2.- С.54
28. Федуллова Э.Н., Шубанина Е.И., Жукова Е.А. и другие Алгоритм прогнозирования рецидивирующего непрерывного течения язвенного колита у детей на основе математического моделирования. Фарматека 2014; 6: 74 – 79.

Приложения

Список используемых сокращений

Вместо полного указания стратегии $Str_{x,y}$ будем использовать следующие порядковые номера

- | | | | |
|---------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| 1. $Str_{a,a}$, | 5. $Str_{a,ab}$, | 9. $Str_{a,ad0}$, | 13. $Str_{a,ad0b}$, |
| 2. $Str_{ab,a}$, | 6. $Str_{ab,ab}$, | 10. $Str_{ab,ad0}$, | 14. $Str_{ab,ad0b}$, |
| 3. $Str_{ad0,a}$, | 7. $Str_{ad0,ab}$, | 11. $Str_{ad0,ad0}$, | 15. $Str_{ad0,ad0b}$, |
| 4. $Str_{ad0b,a}$, | 8. $Str_{ad0b,ab}$, | 12. $Str_{ad0b,ad0}$, | 16. $Str_{ad0b,ad0b}$ |

Аналогично, 10 примеров для предсказания и соответствующие им гипотезы (эмпирические законы, 33_1^σ , $\sigma \in \{+, -\}$) о доопределении будем нумеровать числами от 1 до 10.

Приложение 1

"Цепочки" для гипотез о причинах ($V \Rightarrow 2W$)
и функция сохранения истинностных значений ξ_2^σ

Str _{x,v}	# п/п	Расширения базы фактов			Количество гипотез в группе	Значения функции сохранения истинностных значений			
1	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	0	0	0	1	#	#	1	#
	3	-	-	-	5	#	1	#	#
	4	+	0	0	2	#	#	0,67	#
	5	τ	0	0	13	#	#	0,67	#
	6	τ	-	-	54	#	0,67	#	#
	7	τ	+	+	540	0,67	#	#	#
	8	τ	-	0	1	#	#	#	#
	9	τ	τ	0	1	#	#	#	0,67
	10	τ	+	0	24	#	#	#	#
	11	τ	τ	-	203	#	#	#	0,67
	12	τ	τ	+	1682	#	#	#	0,67
2	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	-	-	-	6	#	1	#	#
	3	+	+	τ	1	0,67	#	#	#
	4	τ	-	-	71	#	0,67	#	#
	5	τ	+	+	502	0,67	#	#	#
	6	τ	+	τ	60	#	#	#	0,67
	7	τ	t	-	228	#	#	#	0,67
	8	τ	τ	+	1906	#	#	#	0,67
3	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	0	0	0	1	#	#	1	#
	3	-	-	-	5	#	1	#	#
	4	+	0	0	3	#	#	0,67	#
	5	τ	0	0	13	#	#	0,67	#
	6	τ	-	-	54	#	0,67	#	#
	7	τ	+	+	527	0,67	#	#	#
	8	τ	-	0	1	#	#	#	#
	9	τ	τ	0	1	#	#	#	0,67
	10	τ	+	0	23	#	#	#	#
	11	τ	τ	-	204	#	#	#	0,67
	12	τ	τ	+	1633	#	#	#	0,67
4	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ

	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	-	-	-	6	#	1	#	#
	3	+	+	τ	1	0,67	#	#	#
	4	τ	-	-	71	#	0,67	#	#
	5	τ	+	+	476	0,67	#	#	#
	6	τ	+	τ	55	#	#	#	0,67
	7	τ	τ	-	228	#	#	#	0,67
	8	τ	τ	+	1821	#	#	#	0,67
5		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	-	-	-	29	#	1	#	#
	2	+	+	+	30	1	#	#	#
	3	τ	-	-	275	#	0,67	#	#
	4	τ	+	+	1423	0,67	#	#	#
	5	τ	-	τ	5	#	#	#	0,67
	6	τ	τ	-	1892	#	#	#	0,67
	7	τ	τ	+	3313	#	#	#	0,67
6		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	-	-	-	29	#	1	#	#
	3	+	+	τ	1	0,67	#	#	#
	4	τ	-	-	275	#	0,67	#	#
	5	τ	+	+	502	0,67	#	#	#
	6	τ	-	τ	5	#	#	#	0,67
	7	τ	+	τ	60	#	#	#	0,67
	8	τ	τ	-	1892	#	#	#	0,67
	9	τ	τ	+	1906	#	#	#	0,67
7		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	-	-	-	29	#	1	#	#
	2	+	+	+	30	1	#	#	#
	3	τ	-	-	275	#	0,67	#	#
	4	τ	+	+	1345	0,67	#	#	#
	5	τ	+	τ	4	#	#	#	0,67
	6	τ	-	τ	5	#	#	#	0,67
	7	τ	τ	-	1892	#	#	#	0,67
	8	τ	τ	+	3138	#	#	#	0,67
8		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	-	-	-	29	#	1	#	#
	3	+	+	τ	1	0,67	#	#	#
	4	τ	-	-	275	#	0,67	#	#
	5	τ	+	+	476	0,67	#	#	#

	6	τ	-	τ	5	#	#	#	0,67
	7	τ	+	τ	55	#	#	#	0,67
	8	t	τ	+	1821	#	#	#	0,67
	9	t	τ	-	1892	#	#	#	0,67
9		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	0	0	0	1	#	#	1	#
	2	-	-	-	4	#	1	#	#
	3	+	+	+	19	1	#	#	#
	4	τ	0	0	1	#	#	0,67	#
	5	+	+	0	4	0,67	#	#	#
	6	+	0	0	6	#	#	0,67	#
	7	τ	-	-	33	#	0,67	#	#
	8	τ	+	+	1417	0,67	#	#	#
	9	τ	0	+	1	#	#	#	#
	10	τ	+	0	4	#	#	#	#
	11	τ	-	τ	5	#	#	#	0,67
	12	τ	τ	-	73	#	#	#	0,67
	13	τ	τ	+	3313	#	#	#	0,67

10		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	-	-	-	5	#	1	#	#
	3	+	+	τ	1	0,67	#	#	#
	4	τ	-	-	40	#	0,67	#	#
	5	τ	+	+	502	0,67	#	#	#
	6	τ	-	τ	6	#	#	#	0,67
	7	τ	+	τ	60	#	#	#	0,67
	8	τ	τ	-	81	#	#	#	0,67
	9	τ	τ	+	1906	#	#	#	0,67
11		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	0	0	0	1	#	#	1	#
	2	-	-	-	4	#	1	#	#
	3	+	+	+	19	1	#	#	#
	4	τ	0	0	1	#	#	0,67	#
	5	+	+	0	4	0,67	#	#	#
	6	+	0	0	6	#	#	0,67	#
	7	τ	-	-	33	#	0,67	#	#
	8	τ	+	+	1340	0,67	#	#	#
	9	τ	0	+	1	#	#	#	#
	10	τ	+	0	3	#	#	#	#
	11	τ	+	τ	4	#	#	#	0,67

	12	τ	-	τ	5	#	#	#	0,67
	13	τ	τ	-	74	#	#	#	0,67
	14	τ	τ	+	3138	#	#	#	0,67
12		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	-	-	-	5	#	1	#	#
	3	+	+	τ	1	0,67	#	#	#
	4	τ	-	-	40	#	0,67	#	#
	5	τ	+	+	476	0,67	#	#	#
	6	τ	-	τ	6	#	#	#	0,67
	7	τ	+	τ	55	#	#	#	0,67
	8	τ	τ	-	81	#	#	#	0,67
	9	τ	τ	+	1821	#	#	#	0,67
13		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	30	1	#	#	#
	2	τ	-	-	59	#	0,67	#	#
	3	τ	+	+	1423	0,67	#	#	#
	4	-	τ	τ	21	#	#	#	0,67
	5	τ	-	τ	78	#	#	#	0,67
	6	τ	τ	-	521	#	#	#	0,67
	7	τ	τ	+	3313	#	#	#	0,67
14		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	1	1	#	#	#
	2	+	+	τ	1	0,67	#	#	#
	3	τ	-	-	59	#	0,67	#	#
	4	τ	+	+	502	0,67	#	#	#
	5	-	τ	τ	21	#	#	#	0,67
	6	τ	+	τ	60	#	#	#	0,67
	7	τ	-	τ	78	#	#	#	0,67
	8	τ	τ	-	521	#	#	#	0,67
	9	τ	τ	+	1906	#	#	#	0,67
15		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ
	1	+	+	+	30	1	#	#	#
	2	τ	-	-	59	#	0,67	#	#
	3	τ	+	+	1345	0,67	#	#	#
	4	τ	+	τ	4	#	#	#	0,67
	5	-	τ	τ	21	#	#	#	0,67
	6	τ	-	τ	78	#	#	#	0,67
	7	τ	τ	-	521	#	#	#	0,67
	8	τ	τ	+	3138	#	#	#	0,67
16		$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	ξ_2^+	ξ_2^-	ξ_2^0	ξ_2^τ

1	+	+	+	1	1	#	#	#
2	+	+	τ	1	0,67	#	#	#
3	τ	-	-	59	#	0,67	#	#
4	τ	+	+	476	0,67	#	#	#
5	-	τ	τ	21	#	#	#	0,67
6	τ	+	τ	55	#	#	#	0,67
7	τ	-	τ	78	#	#	#	0,67
8	τ	τ	-	521	#	#	#	0,67
9	τ	τ	+	1821	#	#	#	0,67

Приложение 2

"Цепочки" для гипотез о доопределениях ($X \Rightarrow_1 Y$)
и функция сохранения истинных значений ξ_1^+

Str _{x,y}	# п/п	Расширения базы фактов			Количество гипотез в группе	Значения функции сохранения истинностных значений			
		БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}		ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
1	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	9	#	#	1	#
	2	-	-	-	1	#	1	#	#
2	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	4	#	#	1	#
	2	-	-	-	5	#	1	#	#
	3	-	0	0	1	#	#	0,67	#
3	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	9	#	#	1	#
	2	-	-	-	1	#	1	#	#
4	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	4	#	#	1	#
	2	-	-	-	5	#	1	#	#
	3	-	0	0	1	#	#	0,67	#
5	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	4	#	#	1	#
	2	+	+	+	3	1	#	#	#
	3	+	+	0	2	0,67	#	#	#
	4	-	-	-	1	#	1	#	#
6	#	БФ _{0,0}	БФ _{0,1}	БФ _{0,2}	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	-	-	-	4	#	1	#	#
	2	+	+	+	3	1	#	#	#
	3	+	+	0	1	0,67	#	#	#
	4	-	τ	0	1	#	#	#	#
	5	τ	τ	-	1	#	#	#	0,67

7	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	4	#	#	1	#
	2	+	+	+	3	1	#	#	#
	3	+	+	0	2	0,67	#	#	#
	4	-	-	-	1	#	1	#	#
8	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	-	-	-	4	#	1	#	#
	2	+	+	+	3	1	#	#	#
	3	+	+	0	1	0,67	#	#	#
	4	-	τ	0	1	#	#	#	#
	5	τ	τ	-	1	#	#	#	0,67
9	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	9	#	#	1	#
	2	-	-	-	1	#	1	#	#
10	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	4	#	#	1	#
	2	-	-	-	5	#	1	#	#
	3	-	0	0	1	#	#	0,67	#
11	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	9	#	#	1	#
	2	-	-	-	1	#	1	#	#
12	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	4	#	#	1	#
	2	-	-	-	5	#	1	#	#
	3	-	0	0	1	#	#	0,67	#
13	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	1	#	#	1	#
	2	+	+	+	4	#	1	#	#
	3	0	+	+	2	0,67	#	#	#
	4	0	-	0	1	#	#	0,67	#
	5	+	τ	+	1	0,67	#	#	#
	6	τ	τ	τ	1	#	#	#	1
14	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	-	-	-	2	#	1	#	#
	2	+	+	+	4	#	#	#	#
	3	-	τ	τ	1	#	#	#	0,67
	4	τ	τ	τ	2	#	#	#	1
	5	-	+	+	1	0,67	#	#	#
15	#	$БФ_{0,0}$	$БФ_{0,1}$	$БФ_{0,2}$	Кол-во	ξ_1^+	ξ_1^-	ξ_1^0	ξ_1^τ
	1	0	0	0	1	#	#	1	#
	2	+	+	+	6	1	#	#	#

	3	0	+	+	1	0,67	#	#	#
	4	0	-	0	1	#	#	0,67	#
	5	τ	τ	τ	1	#	#	#	1
16	#	$\text{БФ}_{0,0}$	$\text{БФ}_{0,1}$	$\text{БФ}_{0,2}$	Кол-во	$\tilde{\xi}_1^+$	$\tilde{\xi}_1^-$	$\tilde{\xi}_1^0$	$\tilde{\xi}_1^\tau$
	1	-	-	-	1	#	#	1	#
	2	+	+	+	3	1	#	#	#
	3	-	τ	τ	1	#	#	#	0,67
	4	τ	τ	τ	2	#	#	#	1
	5	-	+	+	1	0,67	#	#	#

Приложение 3

Объясняемость (абдуктивная сходимость)

Str _{x,y}	Расширения базы фактов					
	$\text{БФ}_{0,0}$		$\text{БФ}_{0,1}$		$\text{БФ}_{0,2}$	
	$\text{БФ}_{0,0}^+$	$\text{БФ}_{0,0}^-$	$\text{БФ}_{0,1}^+$	$\text{БФ}_{0,1}^-$	$\text{БФ}_{0,2}^+$	$\text{БФ}_{0,2}^-$
1	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=1$
2	$\rho(+)=0.85$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=1$
3	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=1$
4	$\rho(+)=0.85$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=1$
5	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.79$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.89$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.90$
6	$\rho(+)=0.85$	$\rho(-)=0.79$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=0.89$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=0.90$
7	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.79$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.89$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.96$
8	$\rho(+)=0.85$	$\rho(-)=0.79$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=0.89$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=0.90$
9	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.87$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.99$
10	$\rho(+)=0.85$	$\rho(-)=0.93$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=1$
11	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.87$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.99$
12	$\rho(+)=0.85$	$\rho(-)=0.93$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=1$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=1$
13	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.66$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.68$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.68$
14	$\rho(+)=0.85$	$\rho(-)=0.59$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=0.68$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=0.68$
15	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.59$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.68$	$\rho(+)=1$	$\rho(-)=0.68$
16	$\rho(+)=0.85$	$\rho(-)=0.59$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=0.68$	$\rho(+)=0.97$	$\rho(-)=0.68$

Приложение 4

Результаты теста на обобщенный метод (для ЭЗ)

Для $\text{БФ}_{0,0}$

Str _{x,y}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТОБ ⁺	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
ТОБ ⁻	0,02	0	0,02	0	0,77	0	0,77	0	0,7	0	0,7	0	0,77	0	0,77	0

Для $\text{БФ}_{0,1}$

Str _{x,y}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТОБ ⁺	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
ТОБ ⁻	0,01	0	0,01	0	0,72	0	0,72	0	0,64	0	0,64	0	0,72	0	0,72	0

Для $\text{БФ}_{0,2}$

Str _{x,y}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТОБ ⁺	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
ТОБ ⁻	0,02	0	0,02	0	0,72	0	0,72	0	0	0	0,64	0	0,72	0	0,72	0

Приложение 5

Значения $\tilde{\eta}_j^\sigma$ для применяемых стратегий

Str _{x,y}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\tilde{\eta}_2^+$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,02	0,002	0,022	0,002	0,013	0,002	0,014	0,002	0,021	0,002	0,022	0,002
$\tilde{\eta}_2^-$	0,08	0,088	0,08	0,088	0,095	0,095	0,095	0,095	0,108	0,111	0,108	0,111	0	0	0	0
$\tilde{\eta}_1^+$	#	#	#	0,83	0,4	0,75	0,6	0,75	#	0,83	#	#	0,57	0,8	0,86	0,75
$\tilde{\eta}_1^-$	#	0,83	1	#	#	0,66	1	0,66	1	#	1	0,83	#	1	#	1

Приложение 6

Таблица соответствия ЭЗ⁺ и стратегий Str_{x,y}

Str _{x,y} Идентификатор ЭЗ ⁺	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(+) Гипотеза №154401	+		+		+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №694862		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
(+) Гипотеза №239					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №1509					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №3668					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №4858					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №4943					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №5028					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №124738					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №126721					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №130942					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №131411					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №131880					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №167074					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №347776					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №358062					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №372242					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №688015					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №688182					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №688349					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №688683					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №689017					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №690520					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №692023					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №693693					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №693860					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №694194					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №695196					+		+						+		+	
(+) Гипотеза №696198					+		+		+		+		+		+	
(+) Гипотеза №697367					+		+		+		+		+		+	

Приложение 7

Таблица соответствия ЭЗ⁺ и стратегий Str_{x,y}

Идентификатор ЭЗ \ Str _{x,y}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(-) Гипотеза №98862	–	–	–	–					–	–	–	–				
(-) Гипотеза №99640	–	–	–	–					–	–	–	–				
(-) Гипотеза №100418	–	–	–	–					–	–	–	–				
(-) Гипотеза №108198	–	–	–	–					–	–	–	–				
(-) Гипотеза №1526151	–	–	–	–												
(-) Гипотеза №2370477		–		–						–		–				
(-) Гипотеза №100807					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №516144					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №539344					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №564151					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №1549329					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №2036199					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №2148924					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №2161369					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №2258245					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №2272340					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №2282419					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №2365792					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №3161644					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №6674224					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №22783570					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №22980952					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №22987123					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №23289353					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №23388089					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №23394260					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №23400431					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №26308390					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №26525757					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №40951161					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №117153607					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №117182315					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №117185119					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №117188923					–	–	–	–								
(-) Гипотеза №117923651					–	–	–	–								

Комментарий. Таблица иллюстрирует, какие из ЭЗ⁺ какими стратегиями были получены.

Приложение 7а

Примеры на предсказание №4 и №10

Пример 4

1- Возраст пациента	61 лет и более
2- Индекс массы тела	16,1-18,5 недостаточная (дефицит) масса тел
3- ХКП (хронический кальцифицирующий панкреатит)	да
7- ПН (панкреонекроз)	да
13- Вирсунголитиаз	да
14- Деформация панкреатического протока	есть
15- Увеличение размеров поджелудочной железы	головка
16- Резекционные операции в анамнезе	операция по Бегеру
17- Инсулинотерапия	да
18- Алкоголь в анамнезе	да
19- Табакокурение в анамнезе	да
20- Длительность заболевания	более 15 лет
22- Боль	2
23- Кисты	да
24- Кальцинаты	да
25- Панкреатическая гипертензия	да
26- Гликемический профиль ммоль/л	8,1-10
28- Экзокринная недостаточность	2
29- ХЦК (холецистокинин)	0,16-3
30- секретин	0,023-0,223
31- ГИП (глюкозозависимый инсулиотропный пептид)	0,002-2,002
32- ВИП (вазоактивный инсулиновый гормон)	0,001-4,0
33- соматостатин	0,02-0,42
34- гастрин	0,02-20
35- с-пептид	0,1-2
36- SETR	да
37- PRSS	да

Пример 10

1- Возраст пациента	20-40 лет
2- Индекс массы тела	25,1-30 избыточная масса тела (предожирение)
7- ПН (панкреонекроз)	да
9- ЖКБ (желчекаменная болезнь)	да
15- Увеличение размеров поджелудочной железы	хвост
18- Алкоголь в анамнезе	да
20- Длительность заболевания	5-10
22- Боль	1
23- Кисты	да
24- Кальцинаты	да
25- Панкреатическая гипертензия	да
26- Гликемический профиль ммоль/л	4,5-6,5
28- Экзокринная недостаточность	0
29- ХЦК (холецистокинин)	0,16-3
30- секретин	0,023-0,223
31- ГИП (глюкозозависимый инсулиотропный пептид)	2,0021-4,002
32- ВИП (вазоактивный инсулиновый гормон)	8,01-12,0
33- соматостатин	0,621-0,82
34- гастрин	40,01-60
35- с-пептид	4,1-6
36- SETR	нет
39- ХБК-хронический билиарный панкреатит	да

Комментарий. Для каждого признака-атрибута в гипотезе выделен актуальный качественный признак (подробнее о языке описания данных в разделе 3). Атрибуты, не имеющие значений, опущены.

Приложение 8

Примеры ЭЗ⁺

(+) Гипотеза №154401

17- Инсулинотерапия	да
33- соматостатин	0,02-0,42
35- с-пептид	0,1-2

(+) Гипотеза №694862

17- Инсулинотерапия	да
28- Экзокринная недостаточность	2
33- соматостатин	0,02-0,42
35- с-пептид	0,1-2

(+) Гипотеза №131411

14- Деформация панкреатического протока	есть
17- Инсулинотерапия	да
29- ХЦК (холецистокинин)	0,16-3
33- соматостатин	0,02-0,42
35- с-пептид	0,1-2

(+) Гипотеза №692023

26- Гликемический профиль ммоль/л	8,1-10
33- соматостатин	0,02-0,42
35- с-пептид	0,1-2

(+) Гипотеза №693860

14- Деформация панкреатического протока	есть
17- Инсулинотерапия	да
33- соматостатин	0,02-0,42
35- с-пептид	0,1-2

Комментарий. Для каждого признака-атрибута в гипотезе выделен актуальный качественный признак (подробнее о языке описания данных в разделе 3). Атрибуты, не имеющие значений, опущены

Приложение 9

Примеры ЭЗ⁻

(-) Гипотеза №100807

26- Гликемический профиль ммоль/л	4,5-6,5
32- ВИП (вазоактивный инсулиновый гормон)	0,001-4,0
33- соматостатин	0,02-0,42
34- гастрин	0,02-20

(-) Гипотеза №22783570

26- Гликемический профиль ммоль/л	4,5-6,5
29- ХЦК (холецистокинин)	0,16-3
32- ВИП (вазоактивный инсулиновый гормон)	0,001-4,0
33- соматостатин	0,02-0,42
34- гастрин	0,02-20

(-) Гипотеза №117182315

20- Длительность заболевания	5-10
28- Экзокринная недостаточность	1

Комментарий. Для каждого признака-атрибута в гипотезе выделен качественный признак (подробнее о языке описания данных в разделе 3). Атрибуты, не имеющие значений, опущены.

Приложение 10

Оценка ЭЗ⁺ экспертом

# п/п	Идентификатор ЭЗ ⁺	Оценка эксперта
1	(+) Гипотеза №154401*	3
2	(+) Гипотеза №694862*	4
3	(+) Гипотеза №239	2
4	(+) Гипотеза №1509	3
5	(+) Гипотеза №3668	3
6	(+) Гипотеза №4858	2
7	(+) Гипотеза №4943	2
8	(+) Гипотеза №5028	3
9	(+) Гипотеза №124738	2
10	(+) Гипотеза №126721	3
11	(+) Гипотеза №130942	2
12	(+) Гипотеза №131411*	4
13	(+) Гипотеза №131880	3
14	(+) Гипотеза №167074	2
15	(+) Гипотеза №347776	3
16	(+) Гипотеза №358062	3
17	(+) Гипотеза №372242	3
18	(+) Гипотеза №688015	2
19	(+) Гипотеза №688182	3
20	(+) Гипотеза №688349	2
21	(+) Гипотеза №688683	2
22	(+) Гипотеза №689017	3
23	(+) Гипотеза №690520	3
24	(+) Гипотеза №692023*	4
25	(+) Гипотеза №693693	2
26	(+) Гипотеза №693860*	4
27	(+) Гипотеза №694194	3
28	(+) Гипотеза №695196	2
29	(+) Гипотеза №696198	2
30	(+) Гипотеза №697367	2

Комментарий. Подробную расшифровку оценки эксперта можно найти в разделе 4, Ход исследования.

* отмечены гипотезы, расшифровку которых можно найти в Приложении 8.

Приложение 11

Оценка ЭЗ⁺ экспертом

# п/п	Идентификатор ЭЗ ⁺	Оценка эксперта
1	(-) Гипотеза №98862	2
2	(-) Гипотеза №99640	2
3	(-) Гипотеза №100418	2
4	(-) Гипотеза №108198	2
5	(-) Гипотеза №1526151	2
6	(-) Гипотеза №2370477	2
7	(-) Гипотеза №100807*	4
8	(-) Гипотеза №516144	3
9	(-) Гипотеза №539344	3
10	(-) Гипотеза №564151	2
11	(-) Гипотеза №1549329	2
12	(-) Гипотеза №2036199	2
13	(-) Гипотеза №2148924	3
14	(-) Гипотеза №2161369	3
15	(-) Гипотеза №2258245	2
16	(-) Гипотеза №2272340	2
17	(-) Гипотеза №2282419	2
18	(-) Гипотеза №2365792	2
19	(-) Гипотеза №3161644	2
20	(-) Гипотеза №6674224	2
21	(-) Гипотеза №22783570*	4
22	(-) Гипотеза №22980952	3
23	(-) Гипотеза №22987123	3
24	(-) Гипотеза №23289353	3
25	(-) Гипотеза №23388089	2
26	(-) Гипотеза №23394260	2
27	(-) Гипотеза №23400431	3
28	(-) Гипотеза №26308390	3
29	(-) Гипотеза №26525757	2
30	(-) Гипотеза №40951161	3
31	(-) Гипотеза №117153607	2
32	(-) Гипотеза №117182315*	1
33	(-) Гипотеза №117185119	2
34	(-) Гипотеза №117188923	2
35	(-) Гипотеза №117923651	2

Комментарий. Подробную расшифровку оценки эксперта можно найти в разделе 4, Ход исследования.
 * отмечены гипотезы, расшифровку которых можно найти в Приложении 9.

Приложение 12

Таблица согласованности ЭЗ⁻ и его основания

Str _{x,v}	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁻	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁻	Признак верифицируемости
1	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁻	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁻	Признак
	108198	10**	Да
2	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁻	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁻	Признак
	98862	1	Да
	99640	1	Да
	100418	1	Да
	108198	1	Да
	1526151	1	Да
	2370477	1	Да
	98862	5	Да
	99640	5	Да
	100418	5	Да
	108198	5	Да
	1526151	5	Да
	2370477	5	Да
	99640	6	Да
	1526151	7	Да
	2370477	7	Да
	108198	10**	Да
3	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁻	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁻	Признак
	108198	10**	Да
4	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁻	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁻	Признак
	98862	2	Да
	99640	2	Да
	100418	2	Да
	108198	2	Да
	1526151	2	Да
	2370477	2	Да
	98862	5	Да
	99640	5	Да
	100418	5	Да
	108198	5	Да
	1526151	5	Да
	2370477	5	Да
	99640	6	Да
	1526151	7	Да
	2370477	7	Да
	108198	10**	Да
6	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁻	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁻	Признак
	100807*	2	Да
	516144	2	Да

539344	2	Да
564151	2	Да
1549329	2	Да
2036199	2	Да
2148924	2	Да
2161369	2	Да
2258245	2	Да
2272340	2	Да
2282419	2	Да
2365792	2	Да
3161644	2	Да
6674224	2	Да
22783570*	2	Да
22980952	2	Да
22987123	2	Да
23289353	2	Да
23388089	2	Да
23394260	2	Да
23400431	2	Да
26308390	2	Да
26525757	2	Да
40951161	2	Да
117153607	2	Да
117182315*	2	Да
117185119	2	Да
117188923	2	Да
117923651	2	Да
117923651	5	Да
2036199	6	Да
2365792	6	Да
3161644	6	Да
6674224	6	Да
117153607	6	Да
117182315	6	Да
117185119	6	Да
516144	8	Да
117153607	10**	Да
117182315*	10**	Да
117185119	10**	Да

Комментарий. В таблице для каждой стратегии $Str_{x,y}$ представлен тернарный предикат $I_{1,2}^-$ следующим образом: в первой колонке указан идентификатор $\mathcal{E}Z_2 (V \Rightarrow_2 W)$, во второй колонке – идентификатор $\mathcal{E}Z_1 (X \Rightarrow_1 Y)$, в заключительной – признак верификации (правильно ли мы доопределили пример).

* отмечены ЭЗ, которые можно найти в списках Приложения 9.

** отмечены примеры, которые можно найти в Приложении 7а.

Приложение 13

Таблица согласованности ЭЗ⁺ и его основания

Str _{x,y}	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁺	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁺	Признак верифицируемости
7	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁺	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁺	Признак
	154401*	1	Да
	694862*	1	Да
	239	1	Да
	1509	1	Да
	3668	1	Да
	4858	1	Да
	4943	1	Да
	5028	1	Да
	124738	1	Да
	126721	1	Да
	130942	1	Да
	131411*	1	Да
	131880	1	Да
	167074	1	Да
	347776	1	Да
	358062	1	Да
	372242	1	Да
	688015	1	Да
	688182	1	Да
	688349	1	Да
	688683	1	Да
	689017	1	Да
	690520	1	Да
	692023*	1	Да
	693693	1	Да
	693860*	1	Да
	694194	1	Да
	695196	1	Да
	696198	1	Да
	697367	1	Да
	154401	4**	Да
	694862	4**	Да
	239	4**	Да
	1509	4**	Да
	3668	4**	Да
	4858	4**	Да
	4943	4**	Да
	5028	4**	Да
	124738	4**	Да
	126721	4**	Да

	130942	4**	Да
	131411*	4**	Да
	131880	4**	Да
	167074	4**	Да
	347776	4**	Да
	358062	4**	Да
	372242	4**	Да
	688015	4**	Да
	688182	4**	Да
	688349	4**	Да
	688683	4**	Да
	689017	4**	Да
	690520	4**	Да
	692023*	4**	Да
	693693	4**	Да
	693860	4**	Да
	694194	4**	Да
	695196	4**	Да
	696198	4**	Да
	697367	4**	Да
	154401	3	Да
	694862*	3	Да
	688182	3	Да
	688349	3	Да
	688683	3	Да
	690520	3	Да
	692023	3	Да
	693693	3	Да
	693860*	3	Да
	694194	3	Да
	696198	3	Да
	697367	3	Да
8	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁺	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁺	Признак
	694862*	1	Да
	694862*	3	Да
	694862*	4**	Да
13,15	Идентификатор ЭЗ ₂ ⁺	Идентификатор ЭЗ ₁ ⁺	Признак
	154401*	1	Да
	694862*	1	Да
	239	1	Да
	1509	1	Да
	3668	1	Да
	4858	1	Да
	4943	1	Да
	5028	1	Да

124738	1	Да
126721	1	Да
130942	1	Да
131411	1	Да
131880	1	Да
167074	1	Да
347776	1	Да
358062	1	Да
372242	1	Да
688015	1	Да
688182	1	Да
688349	1	Да
688683	1	Да
689017	1	Да
690520	1	Да
692023	1	Да
693693	1	Да
693860	1	Да
694194	1	Да
695196	1	Да
696198	1	Да
697367	1	Да
154401	4**	Да
694862	4**	Да
239	4**	Да
1509	4**	Да
3668	4**	Да
4858	4**	Да
4943	4**	Да
5028	4**	Да
124738	4**	Да
126721	4**	Да
130942	4**	Да
131411	4**	Да
131880	4**	Да
167074	4**	Да
347776	4**	Да
358062	4**	Да
372242	4**	Да
688015	4**	Да
688182	4**	Да
688349	4**	Да
688683	4**	Да
689017	4**	Да
690520	4**	Да

692023	4**	Да
693693	4**	Да
693860	4**	Да
694194	4**	Да
695196	4**	Да
696198	4**	Да
697367	4**	Да
154401	3	Да
694862	3	Да
688182	3	Да
688349	3	Да
688683	3	Да
690520	3	Да
692023	3	Да
693693	3	Да
693860	3	Да
694194	3	Да
696198	3	Да
697367	3	Да
688015	7	Нет
688182	7	Нет
688349	7	Нет
688683	7	Нет
689017	7	Нет
690520	7	Нет
693693	7	Нет
696198	7	Нет
697367	7	Нет
154401	9	Да
4858	9	Да
4943	9	Да
5028	9	Да
124738	9	Да
130942	9	Да
131411	9	Да
131880	9	Да
167074	9	Да
347776	9	Да
358062	9	Да
372242	9	Да
688015	9	Да
688349	9	Да
690520	9	Да
692023	9	Да
693693	9	Да

	693860	9	Да
	695196	9	Да
	696198	9	Да
	697367	9	Да
14,16	Идентификатор $\mathcal{E}Z_2^+$	Идентификатор $\mathcal{E}Z_1^+$	Признак
	694862	1	Да
	694862	3	Да
	694862	4**	Да
	694862	8	Да

Комментарий. В таблице для каждой стратегии $Str_{x,y}$ представлен тернарный предикат $\dot{L}_{1,2}^+$ следующим образом: в первой колонке указан идентификатор $\mathcal{E}Z_2$ ($V \Rightarrow_2 W$), во второй колонке – идентификатор $\mathcal{E}Z_1$ ($X \Rightarrow_1 Y$), в заключительной – признак верификации (правильно ли мы доопределили пример).

* отмечены ЭЗ, которые можно найти в списках Приложения 8.

** отмечены примеры, которые можно найти в Приложении 7а.

Приложение 14

Таблица для применяемого множества стратегий (типы ошибок)

$Str_{x,y}$	l_0	a	b	c
(6)	8		2	
(8)	8		2	
(14)	6	1		3
(16)	6	1		3
(2)	5		5	
(4)	5		5	
(10)	5		5	
(12)	5		5	
(5)	4		6	
(7)	4		6	
(13)	4	3	2	1
(15)	4	3	2	1
(1)	1		9	
(3)	1		9	
(9)	1		9	
(11)	1		9	

Комментарий. Для каждой стратегии посчитаны значения l_0 , a , b , c , которые обозначают числа правильных предсказаний, грубых ошибок, ошибок и отказов (от предсказаний), соответственно (подробнее раздел 1).

Таким образом, наилучшей стратегией оказались (8) $Str_{ad0b,ab}$ с предикатами M_{ad0b}^+ и M_{ab}^- (позитивный метод различия с запретом на контрпримеры и негативный метод сходства с запретом на контрпримеры, соответственно).

Позитивный эмпирический закон ($\mathcal{E}Z^+$) для (8) имеет **единственную** причину, а $\mathcal{E}Z^-$ имеет 29 возможных причин.

Шестерникова Ольга Павловна. Главный инженер проекта ООО «НВА-Центр». Окончила Российский государственный гуманитарный университет в 2010 году. Автор 3 печатных работ. Область научных интересов: компьютерные интеллектуальные системы, программирование, анализ данных. E-mail: oshesternikova@gmail.com

Панкратова Елена Сергеевна. Старший научный сотрудник Всероссийского института научной и технической информации РАН. Окончила Московский электротехнический институт связи в 1983 году. Кандидат технических наук. Автор 50 печатных работ. Область научных интересов: представление знаний, интеллектуальные системы для медицины. E-mail: pankr@viniti.ru

Агафонов Максим Александрович. Младший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института гастроэнтерологии Московского клинического научного центра (ЦНИИГ МКНЦ). Окончил Российский государственный медицинский университет РосЗдрава в 2008 году. Автор 14 печатных работ. Область научных интересов: терапия, панкреатология. E-mail: referent509@yandex.ru

Винокурова Людмила Васильевна. Ведущий научный сотрудник ГБУЗ Московского клинического научного центра (ГБУЗ МКНЦ ДЗМ). Окончила Московский медицинский стоматологический институт в 1978 году. Доктор медицинских наук. Автор более 100 печатных работ. Область научных интересов: терапия, гастроэнтерология, панкреатология. E-mail: vinokurova52@mail.ru

Финн Виктор Константинович. Заведующий Сектором интеллектуальных систем Отдела теоретических и прикладных проблем информатики Всероссийского института научной и технической информации РАН (ВИНИТИ РАН). Окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в 1957 году (Философский факультет), в 1966 году (Механико-математический факультет). Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки РФ. Автор более 300 печатных работ. Область научных интересов: искусственный интеллект, математическая логика, интеллектуальные системы, машинное обучение, теория познания, логика и методология науки. E-mail: finn@viniti.ru