ВИЗУАЛЬНЫЙ МЕТАЯЗЫК ОПИСАНИЯ РЕШЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ*

***С. Б. Румовская*[1], *А. В. Колесников*[2], *А. А. Литвин*[3]**

Аннотация: Рассматривается идея визуального метаязыка, описывающего решение диагностической проблемы (ДП) комбинацией нескольких взаимоувязанных процессов рассуждений на разных языках, а также подход к редукции ДП с когнитивной визуализацией. Диагностическая проблема в результате представляется как декомпозиция иерархически выстроенных с горизонтальными связями элементов разного типа: предметное диагностическое решение, диагностические задачи и диагностические подзадачи, диагностические решения-связки и скомпенсированные затруднения. На визуальном метаязыке основывается аксиоматическая теория ролевых визуальных диагностических моделей функциональных гибридных интеллектуальных диагностических систем (ФГИДС) как систем поддержки принятия диагностических решений с когнитивной визуализацией проблем и получением интегрированного образа «состояние органов и систем человека».

Ключевые слова: диагностическая проблема; когнитивная визуализация; редукция диагностической проблемы; визуальный метаязык

DOI: 10.14357/08696527190404

1 Введение

От оперативности реакции врача на возникающую проблемную диагностическую ситуацию зависит безопасность принимаемых решений. В среднем около половины граждан РФ сталкивались с ошибками врачей, и примерно в 35% случаев имело место расхождение поликлинического и клинического диагнозов, а в 21,6% прижизненный диагноз оказывался неверен.

Эксперты по психологии мышления [1] считают, что два способа представления информации — символьный и картинно-образный, а также работа с ними и соотнесение их относительно друг друга обеспечивают феномен человеческого мышления. Образная система характеризуется:

(1) высокой скоростью обработки образов, которая особенно поразительна, если учесть низкие скорости передачи сигналов в мозге;

(2) целостностью образных представлений («гештальтов»).

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 19-07-00250А).

[1]Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, sophiyabr@gmail.com

[2]Балтийский федеральный университет им. И. Канта, avkolesnikov@yandex.ru

[3]Областная клиническая больница Калининградской области, aalitvin@gmail.com

Оба эти свойства не имеют аналогов в рамках компьютерной парадигмы. Визуализация позволяет перевести во внешне замечаемый план те содержания: образы, представления, и, соответственно, процессы с ними, — которые происходят у специалиста (врача) «в голове». Сделать их видимыми, фиксируемыми и легко управляемыми как для него самого, так и для тех, с кем он взаимодействует по этому поводу.

Исследование когнитивных структур и механизмов человека, специалиста в медицине, которое позволит сделать процессы преодоления ДП видимыми, контрастными, а разработка на их основе ФГИДС с когнитивным моделированием ДП позволит подойти к сглаживанию противоречивых показаний аппаратуры, снизит число врачебных ошибок, повысит качество и, соответственно, безопасность медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия диагностических решений.

В работе рассмотрено понятие диагностической проблемы, психологические механизмы решения и ее редукция, идея визуального метаязыка, который позволит описать решение ДП комбинацией нескольких взаимоувязанных процессов рассуждений на разных языках.

2 Диагностическая проблема и механизмы ее решения

Диагностическая проблема — это сложная задача распознавания болезни и оценки индивидуальных биологических особенностей и социального статуса объекта диагностики (пациента) путем истолкования результатов целенаправленного медицинского обследования и их обобщения в виде установленного диагноза [2]. Это аморфное образование, без предзадания, формулируемое динамически, по ходу решения.

Одновременно д. п. н., профессор В. Ф. Спиридонов в рамках своих исследований по психологии мышления при решении задач и проблем отметил два механизма решения проблем [3].

Первый механизм — это самоопределение решателя (термин ввел Г. П. Щедровицкий — российский философ и методолог, общественный и культурный деятель, создатель системомыследеятельностной методологии). Базируется этот механизм на том, что человек (решатель) — часть проблемы, с которой он столкнулся. В рамках этого уточняются: содержание проблемы; нахождение решателем своего места в проблеме; проясняется и более четко формулируется проблема и, соответственно, итоговая цель; решателем определяются зоны ответственности за достижение решения или его реализацию (в случае практической проблемы), а также описываются критерии успешного результата.

Второй механизм, на котором и будет базироваться данное исследование, — изменение представления проблемы в ходе решения. Проблема здесь — образ тесно связанной и иерархически выстроенной системы задач и обслуживающих их подзадач, предполагающих наличие знания о способе их решении. При этом эле-

менты проблемы, согласно исследованию Куколевой [4], опытные специалисты при ее решении дифференцируют на несколько типов составляющих:

(1) предметное диагностическое решение — конкретные действия, результат которых — это достижение поставленной цели — диагноз (план обследования пациента);

(2) «диагностические задачи» — более крупные — и «диагностические подзадачи» — более мелкие, связанные с решением крупной (например, перед тем как диагностировать ишемическую болезнь сердца, необходимо выделить информативный набор показателей состояния здоровья пациента относительно данного заболевания);

(3) скомпенсированные затруднения — часто встречающиеся небольшие задачи, для которых есть типовое решение — диагностические задачи, для решения которых есть четкий и однозначный протокол обследования и постановки диагноза (например, выявление дислипидемии);

(4) диагностические решения-связки — действия, учитывающие конкретные условия по типу «если... то...».

В результате исследования предполагается на основе данного механизма разработать гибридную интеллектуальную систему с когнитивным моделированием ДП. При этом в рамках проблемно-структурной методологии гибридных интеллектуальных систем [5] диагностические задачи и скомпенсированные затруднения по сути представляют собой функциональные подзадачи, составляющие функциональную структуру ДП, а диагностические подзадачи — это технологические задачи, решаемые для организации эффективной обработки данных и знаний в ходе диагностического процесса. Диагностические же решения-связки определяют часть горизонтальных связей подзадач, а предметное решение представляет собой описание концептуальной модели диагностического процесса.

Рассмотрим далее идею языка, на котором будет базироваться аксиоматическая теория ролевых визуальных диагностических моделей ФГИДС как систем поддержки принятия диагностических решений с когнитивной визуализацией проблем и получением интегрированного образа «состояние органов и систем человека».

3 Аксиоматическая теория ролевых визуальных диагностических моделей. Визуальный метаязык

Аксиоматическая теория ролевых визуальных диагностических моделей основывается на понимании визуального языка как семиотической системы:

$$\mathrm{vl}_d = \langle \mathrm{KKVY}_d, \mathrm{VS}, \mathrm{VSe}, \mathrm{VP}, V\delta \rangle \ , \qquad (1)$$

где KKVY_d — концептуально-визуальное категориальное ядро; VS, VSe и VP — множества синтаксических, семантических (знания о предметной области ме-

дицинской диагностики) и прагматических правил (множество правил вывода диагностических решений) соответственно; $V\delta$ — правила изменения множеств KKVY_d, VS, VSe и VP.

Множества KKVY_d, VS, VSe и VP из (1) определяются выражениями:

$$\mathrm{KKVY}_d = \langle \mathrm{KKY}_d, \mathrm{KVY}_d, G \rangle ,$$

$$\mathrm{KKY}_d = \langle \mathrm{RES}_d, \mathrm{PR}_d, \mathrm{ACT}_d, R \rangle , \quad \mathrm{KVY}_d = \langle P^{\mathrm{RES}_d}, P^{\mathrm{PR}_d}, P^{\mathrm{ACT}_d}, \mathrm{VR} \rangle ,$$

$$G = \langle G^{\mathrm{RES}}, G^{\mathrm{PR}}, G^{\mathrm{ACT}}, G^{R} \rangle ,$$

$$G^{\mathrm{RES}} : \mathrm{RES}_d \leftrightarrow P^{\mathrm{RES}_d} , \quad G^{\mathrm{PR}} : \mathrm{PR}_d \leftrightarrow P^{\mathrm{PR}_d} ,$$

$$G^{\mathrm{ACT}} : \mathrm{ACT}_d \leftrightarrow P^{\mathrm{ACT}_d} , \quad G^{R} : R_d \leftrightarrow P^{R_d} ;$$

$$\mathrm{VS} = \langle \mathrm{KVY}_d, \mathrm{VN}, \mathrm{PRU} \rangle ;$$

$$\mathrm{VSe} = \langle \mathrm{KKY}_d, G \rangle ;$$

$$\mathrm{VP} = \{ \langle \mathrm{Ex}_m, \mathrm{act}_d, M, \mathrm{Cond} \rangle \} ,$$

где KKY_d — концептуальное категориальное ядро; KVY_d — визуальное категориальное ядро; RES_d, PR_d и ACT_d — множества ресурсов, свойств и действий, раскрывающие структуру диагностики в медицине; R — множество отношений, заданных на RES_d, PR_d и ACT_d — «ресурс–ресурс», «свойство–свойство», «действие–действие», «ресурс–свойство», «свойство–ресурс», «ресурс–действие», «действие–ресурс», «действие–свойство», «свойство–действие»; P^{RES_d}, P^{PR_d} и P^{ACT_d} — множества визуальных символов ресурсов, свойств и действий; VR — множество ролевых визуальных отношений на одном и более P^{RES_d}, P^{PR_d}, P^{ACT_d}, образные (визуально-)символьные графические высказывания; VN — словарь нетерминальных символов; PRU — множество продукционных правил; Ex_m — множество носителей языка (экспертов-врачей), действия которых ограничиваются внешней средой; act_d — действие, определенное на множестве действий ACT и являющееся объектом нормативной регуляции; M — множество систем модальностей; Cond — множество ситуаций, в которых (не) должно применяться действие.

Метаязык визуального управления предложен в [6] в виде «слоеного пирога», и, следуя данной идее, метаязык аксиоматической теории ролевых визуальных диагностических моделей представлен на рис. 1.

На рис. 1 образно-визуальное ядро на каждом уровне представлено темно-серым овалом, а концептуально-языковая оболочка — светло-серым прямоугольником. В основании лежит концептуально-визуальный базис — словари понятий и отношений. Визуальное ядро и концептуальная оболочка более высокого уровня включают знаки и концепты ядер и оболочек предыдущих уровней.

Концептуально-визуальный категориальный базис метаязыка визуальной диагностики «ресурс–свойство–действие–отношение» представлен на рис. 2.

Рис. 1 Метаязык визуальной диагностики

Ресурс на рис. 2 — форма или понятие, обозначающее или символизирующее вещь (одушевленную и неодушевленную), имеющуюся у субъекта диагностики для решения ДП. Это все то, что есть у врача для принятия решений. Для отображения состояния органов и систем человека выделим среди ресурсов системные функциональные единицы (СФЕ) [7] разной степени детализации, под которыми понимаются различные клеточные и тканевые структуры, например нефрон почек, ацинус поджелудочной железы. Системная функциональная единица реализует лишь одну функцию по принципу максимального или нулевого действия. Тогда, например, в качестве СФЕ поджелудочной железы (ПЖ) можно определить дольки или ацинусы и островки Лангерганса. Есть человеческие и технические ресурсы.

Свойство на рис. 2 — все то, что не является границами данного ресурса. Это то, что, характеризуя ресурсы, не образует новых ресурсов. Выделяют физические свойства (параметры), характеристические свойства (характеристики), именные свойства (имена) и функции (предназначение ресурса). Это, например, признаки, описывающие состояние здоровья пациента, совокупности которых

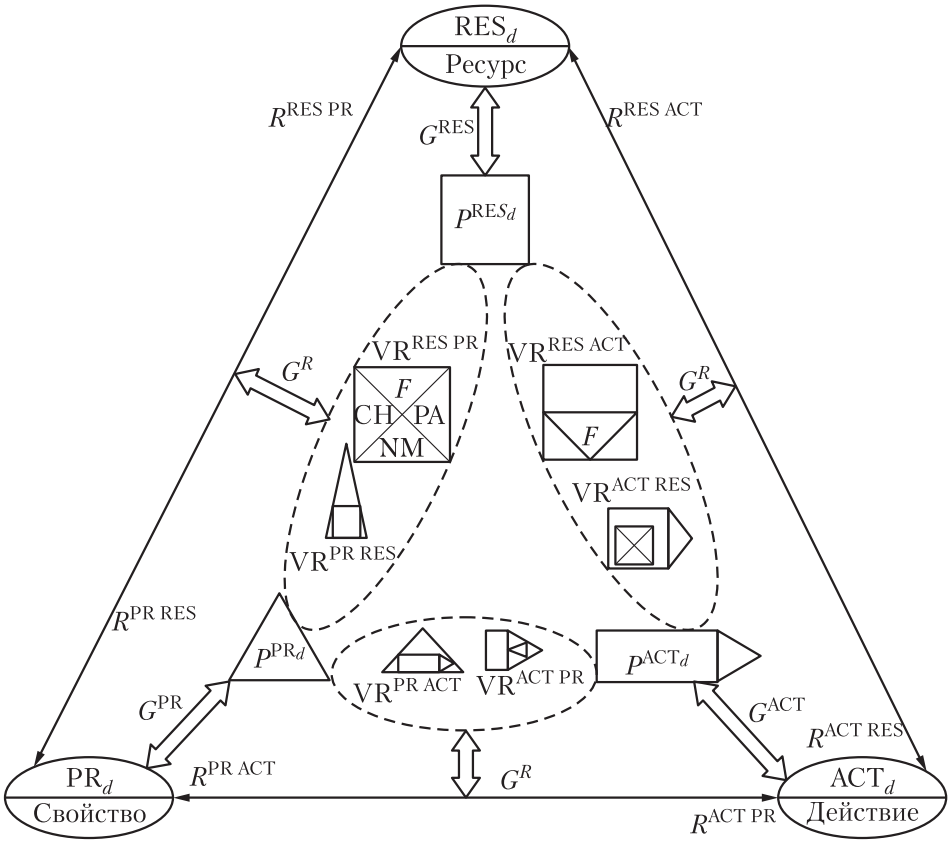

Рис. 2 Концептуально-визуальное ядро «ресурс–свойство–действие–отношение»: P^{RES_d}, P^{PR_d} и P^{ACT_d} — множества визуальных символов ресурсов, свойств и действий; $P^{\text{RES PR}}$, $R^{\text{PR RES}}$, $\text{R}^{\text{RES ACT}}$, $R^{\text{ACT RES}}$, $R^{\text{PR ACT}}$, $R^{\text{ACT PR}}$, $\text{VR}^{\text{RES PR}}$, $\text{VR}^{\text{PR RES}}$, $\text{VR}^{\text{RES ACT}}$, $\text{VR}^{\text{ACT RES}}$, $\text{VR}^{\text{PR ACT}}$ и $\text{VR}^{\text{ACT PR}}$ — множества отношений «ресурс–свойство», «свойство–ресурс», «ресурс–действие», «действие–ресурс», «свойство–действие», «действие–свойство» и их ролевые визуальные модели соответственно; G^{RES}, G^{PR}, G^{ACT} и G^R — биекция множеств ресурсов, свойств, действий и отношений на множества их визуальных символов соответственно; F, CH, PA и NM — множества функций, характеристик, параметров и имен

могут соответствовать тому или иному заболеванию, параметры аппаратов компьютерной томографии (КТ), ультразвукового обследования и др.

Параметр — свойство, значение которого может быть измерено по некоторой шкале. Например, *скорость* клубочковой фильтрации, *температура*, *концентрация* глюкагона в сыворотке крови.

Характеристика — свойство, выражающее строение, устройство, особенности. Например, *многослойная* КТ, *спиральная* КТ, *альвеолярная* железа, *экзокринная* часть поджелудочной железы, *нейроэндокринная* опухоль.

Функция — свойство, выражающее предназначение ресурса. Например, орган *пищеварения*, *перенос кислорода*, *секреция гормонов*.

Имя — свойство, идентифицирующее ресурсы, действия, задачи, методы и выделяющее их среди других с одинаковыми параметрами, функциями и характеристиками. Например, *класс* КТ-аппарата, *модель* протеза руки.

Действие — форма или понятие, обозначающее (или символизирующее) отношения на ресурсах как следствие деятельности (исполняемых функций организма как системы) и внешних воздействий (например, радикальная, симптоматическая, восстановительная терапии). Реакции, в том числе патологические, недостаточные или чрезмерные, в результате которых возникают дефекты (опухоли, гипотрофии, инфильтраты, нагноения и т. д.) — это действия.

Ядро на рис. 2 дает достаточно простое и прозрачное структурирование мира визуальной диагностики, утверждая, что это есть мир ресурсов, действий их свойств и девяти классов отношений (петли «ресурс–ресурс», «действие–действие», «свойство–свойство» на рис. 2 опущены).

Расширим ядро KKVY_d. На рис. 3 представлены дополняющие схему на рис. 2 конструкты расширенного ядра. Для моделирования предметных знаний об объекте диагностики (пациенте) необходимо расширить концептуально-визуальное ядро KKVY_d концептами (и соответствующими им визуальными символами) единицами измерения («мерами», MES), «значениями» (VAL) и «состояниями» (ST). Для моделирования предметных знаний о субъекте диагностики (лечащий врач и узкоспециализированные врачи) — «оценки» (EST).

Рассмотрим подробнее концепты расширения концептуально-визуального ядра «мера–значение–состояние–оценка» (см. рис. 3).

Мера — понятие, обозначающее принятую единицу параметра свойства и используемую в качестве меры последнего. Например, *мкмоль/л*, *частота сердечных сокращений в минуту*, *единиц/л* и др.

Значение — понятие или число, показывающее количество единиц меры. Например, активность амилазы в моче *700* единиц/л, уровень сывороточного билирубина *340* мкмоль/л, *повышенная* концентрация мочевины в сыворотке.

Состояние — понятие, обозначающее внешнее проявление процессов, происходящих в ресурсе в некоторый момент времени. Например, *нарушена* структура слизистой оболочки тонкой кишки, ключевые ферменты гликолиза *активны*.

Состояние объекта диагностики $\mathrm{ST}_{\mathrm{od}}(t)$ в момент времени t — интегрированный образ совокупности существенных для решаемой в момент t диагностической задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов и исполняемых функций, а также *d-ситуаций* одновременного исполнения некоторого множества действий над объектом диагностики — диагностических операций и их локализации — и *r-ситуаций* — одновременного выполнения действий ресурсами, т. е. реакции одних систем организма, его подсистем и их элементов на

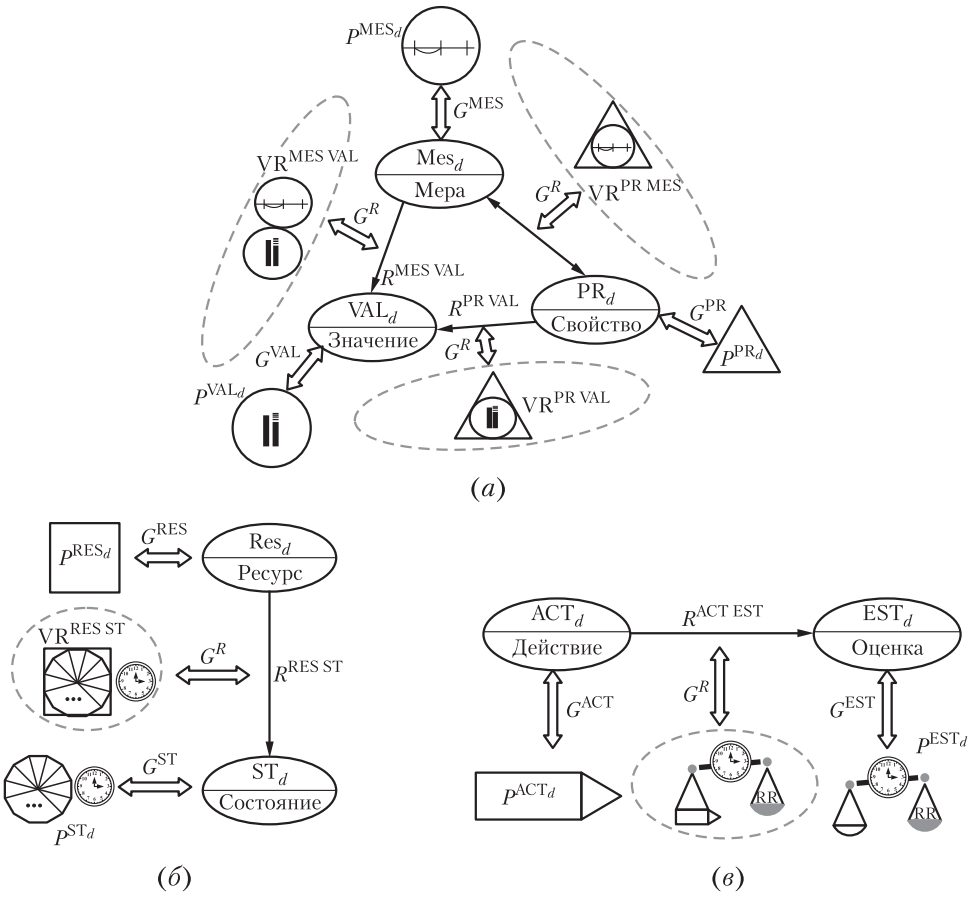

Рис. 3 Расширение концептуально-визуального ядра «мера–значение–состояние–оценка»: P^{RES_d}, P^{PR_d} и P^{ACT_d} — множества визуальных символов ресурсов, свойств и действий; $R^{MES\ PR}$, $R^{PR\ MES}$, $R^{PR\ VAl}$, $R^{MES\ VAL}$, $R^{RES\ ST}$, $R^{ACT\ EST}$, $VR^{MES\ PR}$, $VR^{PR\ MES}$, $VR^{PR\ VAL}$, $VR^{MES\ VAL}$, $VR^{RES\ ST}$ и $VR^{ACT\ EST}$ — множество отношений «мера–свойство», «свойство–мера», «свойство–значение», «мера–значение», «ресурс–состояние», «действие–оценка» и их ролевые визуальные модели соответственно; G^{RES}, G^{PR}, G^{ACT}, G^R, G^{VAL}, G^{MES}, G^{ST} и G^{EST} — биекции множеств ресурсов, свойств, действий, отношений, значений, мер, свойств и оценок на множества их визуальных символов соответственно; RR (reference range) — референсные значения

деятельность других систем организма, его подсистем и их элементов, а также реакции на внешние воздействия на организм.

Оценка — понятие, отображающее результат выполнения действий на оценочные шкалы. Установление меры близости текущего состояния ресурсов к же-

лаемому. Например, получение *информативных* результатов КТ, *сдвиг влево* лейкоцитарной формулы, *сниженная* и *неоднородная* эхогенность паренхимы.

На следующем этапе исследования будет необходимо:

(1) ввести концепт «задача» (PRB) и концепты для моделирования предметных знаний о субъекте моделирования — «метод» (MET), «модель» (MOD)»;

(2) адаптировать метод смешанной редукции относительно диагностической проблемы с когнитивной визуализацией ее элементов и проблемы в целом, а также определить множество отношений и способов их репрезентации в иерархической структуре декомпозиции.

4 Заключение

Создание аксиоматической теории ролевых визуальных отношений проблемной диагностической ситуации и ее элементов на категориальном ядре «ресурс–свойство–действие–отношение», обусловливающих релевантное отображение вербально-символьного и визуально-пространственного аспектов интеллектуальной деятельности в архитектуру и алгоритмы искусственного интеллекта, позволит получить новые теоретические, методологические и технологические знания по инфокоммуникационным технологиям визуального мышления в процессах медицинской диагностики.

Литература

1. *Майоров А. А.* Пространственное когнитивное моделирование // Перспективы науки и образования, 2014. № 1. С. 33–37.
2. Малая медицинская энциклопедия: в 6 т. Т. 2: Грудь — Куммеля болезнь / Под ред. В. И. Покровского. — М.: Медицина, 1991. С. 89.
3. *Спиридонов В. Ф.* Психология мышления: решение задач и проблем. — М.: Генезис, 2006. 319 с.
4. *Куколева О. М.* Представление проблемной ситуации как маркер компетентности решателя // Исследования обучения и развития в контексте культурно-исторического подхода: Мат-лы вторых чтений, посвященных памяти Л. С. Выготского, 2002. С. 231–242.
5. *Румовская С. Б.* Исследование методов поддержки принятия коллективных диагностических решений и разработка инструментальных средств «Виртуальный консилиум» (на примере диагностики артериальной гипертензии): Дис. ... канд. техн. наук. — М., 2017. 138 с.
6. *Колесников А. В., Листопад С. В.* Концептуально-визуальные основы виртуальных гетерогенных коллективов, поддерживающих принятие решений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: Мат-лы III Всеросс. Поспеловской конференции с международным участием. — Калининград: БФУ им. И. Канта, 2016. С. 8–56.
7. *Гайдес М. А.* Общая теория систем (системы и системный анализ). — 2-е изд. — М.: Глобус-Пресс, 2005. 201 с.

Поступила в редакцию 21.08.19

VISUAL METALANGUAGE FOR DESCRIPTION OF SOLUTION OF DIAGNOSTIC PROBLEMS

***S. B. Rumovskaya*[1], *A. V. Kolesnikov*[2], *and A. A. Litvin*[3]**

[1]Kaliningrad Branch of the Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236022, Russian Federation
[2]Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation
[3]Regional Clinical Hospital of the Kaliningrad Region, 74 Klinicheskaya Str., Kaliningrad 236016, Russian Federattion

Abstract: The paper considers the idea of the visual metalanguage describing the solution of a diagnostic problem by a combination of several interconnected reasoning processes in different languages. The approach to reducing a diagnostic problem with cognitive visualization is also observed. The diagnostic problem is presented as a decomposition of elements of different types hierarchically arranged with horizontal connections. It includes domain diagnostic solution, diagnostic tasks and subtasks, diagnostic solutions-bundles and compensated difficulties. The axiomatic theory of role visual diagnostic models of functional hybrid intelligent diagnostic systems is based on the considered visual metalanguage. Such systems are the support systems for making diagnostic decisions with cognitive visualization of problems and obtaining an integrated image — the "state of human organs and systems."

Keywords: diagnostic problem; cognitive visualization; reduction of a diagnostic problem; visual metalanguage

DOI: 10.14357/08696527190404

Acknowledgments

The study was funded by the Russian Foundation for Basic Research according to the research project No. 19-07-00250A.

References

1. Mayorov, A. A. Prostranstvennoe kognitivnoe modelirovanie [Extensional cognitive modeling]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya* [Perspectives of science and education] 1:33–37.
2. Pokrovskii, V. I., ed. 1991. *Malaya meditsinskaya entsiklopediya. T. 2: Grud' — Kummelya bolezn'* [Small medical encyclopaedia. Vol. 2: Chest — the disease of Kummel]. Moscow: Medicine. P. 89.
3. Spiridonov, V. F. 2006. *Psikhologiya myshleniya: reshenie zadach i problem* [Psychology of thinking: Problem and task solving]. Moscow: Genezis. 319 p.

4. Kukoleva, O. M. 2002. Predstavlenie problemnoy situatsii kak marker kompetentnosti reshatelya [Representation of problem situation as highlighter of competence of the solver]. *Issledovaniya obucheniya i razvitiya v kontekste kul'turno-istoricheskogo podkhoda: Mat-ly vtorykh chteniy, posvyashchennykh pamyati L. S. Vygotskogo* [Investigation of Education and Development Within the Context of Culture-Historical Approach: 2nd Readings Dedicated to the Memory of L. S. Vygotskogii Proceedings]. 231–242.
5. Rumovskaya, S. B. 2017. Issledovanie metodov podderzhki prinyatiya kollektivnykh diagnosticheskikh resheniy i razrabotka instrumental'nykh sredstv «Virtual'nyy konsilium» (na primere diagnostiki arterial'noy gipertenzii) [The research of methods of collective diagnostic decision support and development of instruments of the "Virtual council" (illustrated with the diagnostic of arterial hypertension]. Moscow. PhD Thesis. 138 p.
6. Kolesnikov, A. V., and S. V. Listopad. 2016. Kontseptual'no-vizual'nye osnovy virtual'nykh geterogennykh kollektivov, podderzhivayushchikh prinyatie resheniy [Conceptual and visual foundations of virtual heterogeneous teams supporting decision-making]. *Gibridnye i sinergeticheskie intellektual'nye sistemy: mat-ly III Vseross. Pospelovskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Hybrid and Synergetic Intelligent Systems: 3rd All-Russian Pospelovsky Conference with International Participation Proceedings]. Kaliningrad: Publishing House of Immanuel Kant Baltic Federal University. 8–56.
7. Gaydes, M. A. 2005. *Obshchaya teoriya sistem (sistemy i sistemnyy analiz)* [General theory of systems (systems and systems analysis)]. Moscow: Globus-Press. 201 p.

Received August 21, 2019

Contributors

Rumovskaya Sophiya B. (b. 1985) — Candidate of Science (PhD) in technology, scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236022, Russian Federation; sophiyabr@gmail.com

Kolesnikov Alexander V. (b. 1948) — Doctor of Science in technology, professor, Institute of Physical and Mathematical Sciences and Information Technology, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo Str., Kaliningrad 236041, Russian Federation; avkolesnikov@yandex.ru

Litvin Andrei A. (b. 1966) — Doctor of Science in medicine, Deputy Head Physician, Regional Clinical Hospital of the Kaliningrad Region, 74 Klinicheskaya Str., Kaliningrad 236016, Russian Federation; aalitvin@gmail.com