

*А. В. Колесников, С. В. Листопад
А. С. Денисова, А. Е. Колодин*

**РОЛЕВЫЕ ВИЗУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГИБРИДНОЙ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
С ГЕТЕРОГЕННЫМ ВИЗУАЛЬНЫМ ПОЛЕМ**

33

Представлены ролевые визуальные модели гомогенной и гетерогенной задачи, автономного и интегрированного метода, элемента – эксперта коллективного интеллекта, функциональной гибридной интеллектуальной системы – искусственного коллективного интеллекта. Предложенные модели – основа визуального моделирования гибридных интеллектуальных систем, динамически синтезирующих интегрированную модель и метод над гетерогенными модельным и визуальным полями и имитирующих сотрудничество, относительность и дополненность коллективного интеллекта для поиска решений на вербально-символьных и визуально-образных языках.

The paper presents role visual models of a homogeneous and heterogeneous problem, an autonomous and integrated method, an element that is an expert of collective intelligence, a functional hybrid intelligent system that is artificial collective intelligence. The proposed models are the basis for visual modeling of hybrid intelligent systems that dynamically synthesize an integrated model and method over heterogeneous model and visual fields and simulate the cooperation, relativity and complementarity of collective intelligence for finding solutions on verbal-symbolic and visual-shaped languages.

Ключевые слова: задача, проблема, метод, интегрированные метод и модель, функциональная гибридная интеллектуальная система, визуальное управление.

Key words: problem, complex problem, method, integrated method and model, functional hybrid intelligent system, visual management.

Введение

Проблемные ситуации становятся сложнее и постепенно приближаются к границе задач будущего. Для их решения разрабатываются информационные системы визуального управления, интегрирующие разнородную информацию: детерминированную, нечеткую, лингвистическую, статистическую и другие – консультирующие лицо, принимающее решения (ЛППР), позволяя ему с одного взгляда увидеть и оценить проблему. Отображение гибридного интеллекта в смысле В. Ф. Венды с взаимодействующими, сотрудничающими и взаимодополняющими разновидностями интеллекта в смысле Г. Гарднера в компьютерных моделях, воплотилось в функциональных гибридных интеллектуальных системах (ФГиИС).



Их существенный недостаток — возможность отображения сотрудничества только логико-математического интеллекта, языковой коммуникации, левосторонней составляющей рассуждений экспертов и ЛПР в условиях неоднородности и неопределенности информации. Специалисты из разных предметных областей убеждены, что только сочетание естественного и визуального языков в логико-математических и визуально-пространственных правосторонних рассуждениях, соответственно, сочетание вербально-символьной и визуально-образной коммуникации релевантно феномену человеческого мышления. В статье рассматривается формообразование гомогенной и гетерогенной задачи, автономного и интегрированного метода, ФГиИС и ее элементов. Визуализация упростит проектирование и сопровождение интегрированных методов гибридных и синергетических интеллектуальных систем, сделает их релевантными проблемным ситуациям, создаст условия для наблюдения за процессами в системе управления.

1. Информатика и психология решения задач и проблем

Постулаты новой научной картины мира [1] применительно к мышлению, разуму, сознанию развивают традиционные представления об информации, в частности В. М. Глушков, У. Р. Эшби, А. Д. Урсул, А. К. Ребане и другие понимали информацию как меру неоднородности, передаваемые разнообразие и форму.

Информация [2] — любые неоднородности материи. Абсолютно однородная среда (гипотетическая) не содержит информации. Например, Е. А. Александров говорил о «разнородных переменных», О. И. Ларичев — о «разнородных факторах», М. И. Забейало — о «разнородных данных», Н. Нильсон подчеркивал «неоднородность знаний».

Во внутреннем мире экспертов, их сознании система неоднородностей воспринимается как образ, форма. Приближенный образ реальности, ментальная модель формируемая мозгом переносится на другие информационные носители. Сложные объекты отображаются не одной, а множеством моделей в разнообразии мифов, теорий, концепций и гипотез. Моделирование и системогенез — способы видения внешнего и внутреннего мира, фильтрации потоков информации.

Внешний мир коллективного интеллекта — мир вещей (ресурсов) и их отношений создает условия для поступков-действий, воплощающих задуманное. Внутренний мир экспертов избирателен, субъективен и подвержен ошибкам: это цели, задачи, проблемы, решения, планы, оценки, возможности, утверждения, гипотезы, факты, эмоции, убеждения и ценности, умозаключения, красота, мечты и фантазии. Без них эксперт реагирует на ситуацию, следуя мимолетным ощущениям, эмоциям и потребностям. Э. Боно [3] убежден, что пришло время уделить внимание миру восприятий, для того чтобы понять, что же на самом деле происходит в этом мире.



Системотехнический анализ эволюции объектов внутреннего мира коллективного интеллекта — «задач» и «методов» в информатике дан в [4]. Был сделан шаг к отказу от понимания задачи как неделимой на составные части, единой, однородной сущности и применению к ней принципов системного анализа. Для перехода к определению задачи в рамках новой научной картины мира, понимания того, что информация — любые неоднородности материи, учитывая знания естественных наук: физики, термодинамики и химии по «гомогенным (однородным)» и «гетерогенным (неоднородным)» системам, теории систем и системного анализа, то есть как к объекту внутреннего мира, имеющему свойства состава, структуры, упорядоченности, взаимодействия с другими объектами в [4–6] предложены модели «однородная задача», «неоднородная задача» и введена количественная мера сложности моделирования задач. Психологический анализ процессов решения, в частности педагогических задач и проблем, дан, например, в [7].

Задача (англ. *problem*) [7] — психологическая конструкция: 1) условие запуска мыслительного процесса; 2) форма взаимодействия с неопределенностью. Дж. Брунер соотносит понятия «форма представления реальности человеком» и «задача»: «действие» — «двигательные задачи», «образ» — «графические, образные задачи» и «знак» — «вербальные задачи». Различают «инсайтные» и «регулярные» задачи.

Модель «однородная задача» (англ. *homogeneous problem*) [4] — объект внутреннего мира субъекта, ментальная конструкция, не содержащая частей (других задач), отличающихся по составу или свойствам, гипотетически не содержащая информации.

Проблема (англ. *complex problem, ill-structured problem*) [7] — затруднительные условия без явно сформулированной цели или четкая цель, не связанная со сложившимися неблагоприятными условиями. Свойства проблемы: отсутствие и необходимость поиска исходной формулировки, комплексное строение, «навязчивый» и сетевой характер, непрозрачность, собственная динамика, «человеческое» измерение, межпредметное содержание.

Модель «неоднородная задача» (англ. *heterogeneous, inhomogeneous, problem*) [4] — объект внутреннего мира субъекта, характеризующийся количественной и качественной различимостью состояния субстанции средствами разума, ментальная конструкция–система, состоящая из однородных задач и репрезентованная декомпозициями (отношениями декомпозиции) на однородных задачах. Сравнительный анализ определений проблемы и неоднородной задачи показывает их приближительное совпадение.

Известны [7] два механизма решения проблем:

1) самоопределение решателя;

2) изменение представления проблемы в ходе решения.

В проблемно-структурной (ПС) методологии ФГиИС [4] для решения задач релевантных модели «неоднородная задача» используется второй подход: закономерное преобразование представления проблемы в ходе ее решения, когда она преодолевается посредством преобразования ее



репрезентации. Проблема замещается своим субъективным аналогом – представлением (моделью) проблемной ситуации – осмысленной, относительно устойчивой, непосредственно данной решателю мыслительной конструкцией, направляющей и упорядочивающей процесс решения [8]. В такой модели совмещается разнообразие информации о ресурсах, времени, целях, ценностях, убеждениях, эмоциях и других, из которых строится проблемная ситуация. В ней подчеркиваются одни моменты и маскируются другие. У экспертов представление проблемы – это связанная и иерархически выстроенная система обслуживающих задач, предопределяющих средства своего решения. Успешность преодоления проблемы зависит от качества системы задач, в которую ее удастся коллективно превратить.

2. Языкознание о коммуникации в коллективах систем управления и принятия решений

Коммуникация [9] – социально обусловленный процесс передачи и восприятия информации как в межличностном, так и массовом общении по разным каналам при помощи вербальных и невербальных коммуникативных знаковых средств. Знаки и информация изучаются семиотикой культурных феноменов: обыденного и профессионального мышления, искусства, философии, языкознания и литературы, математической логики. С позиции семиотики культура – совокупность концептов и отношений между ними, выражающихся в эволюционно-семиотических рядах [10].

Концепт [10; 11] – дискретное ментальное образование, базовая мыслительная единица, сгусток культуры в сознании человека, то, посредством чего культура входит в ментальный, внутренний мир человека, и то, посредством чего человек входит в культуру. Концепт имеет базовый слой – чувственный образ, единица универсального предметного кода (УПК) [11] и периферию – утверждения, установки сознания, релевантные содержанию концепта в культуре. Структурно в концепте есть все, что есть в структуре понятия: исходная форма и ее развитие, современные ассоциации и оценки. Значение концепта – единица семантического пространства языка.

Понятие – мысль или их система, выделяющая и обобщающая предметы некоторого класса по общим и в своей совокупности специфическим для них признакам. Выделяют содержание и объем понятия.

Семиотическим концептам [12] соответствуют имена, выражающие знаковые отношения между означающим (формой) и означаемым. Это слова «значение», «знак», «символ».

Значение [13] – преобразованная и свернутая в материи языка идеальная форма существования предметного мира, его свойств, связей и отношений, раскрытых общественной практикой.

Знак [14] – условное обозначение, заместитель реальных предметов, представитель этих реальностей, вызывающий в сознании образ, пред-



ставление, понятие об этих реальностях. Существительное «знак» выражает намеренное коммуникативное действие, адресованное другому лицу [12]. Ч. Пирс различал знаки:

1) иконические, план выражения которых похож на план содержания, форма и содержание сходны качественно или структурно, например портрет, фотография;

2) символные (условные), символы. Их планы выражения и содержания не похожи, связь между формой и содержанием устанавливается конвенционально для данного знака, например слова русского языка;

3) индексы — такие, как планы содержания и выражения частично похожи, форма и содержание смежны в пространстве или во времени, например знаки дорожной сигнализации, симптомы болезни.

Языковой образ [12] — категория внутреннего мира. Сознание создает образам новый контекст реорганизуя картину мира ассоциативных отношений с желаниями, эмоциями, совестью и др. При этом форма (образ) отделяется от природной материи и соединяется с духовной категорией, попадая в сферу культуры: оппозиция «форма — материя» сменяется оппозицией «форма — смысл».

Универсальный предметный код [15] — несловесный предметно-образный код, наглядные образы, формирующиеся в сознании человека в процессе восприятия им внешнего мира. Образами эксперт мыслит, строит гипотезы, доказательства, делает выводы, выносит решения. Единицы УПК кодируют в биоэлектрической форме знания эксперта и хранятся в долговременной памяти как образы, схемы, чувственные представления и эмоциональные состояния.

Языковая метафора [12] — способ уловить индивидуальность конкретного предмета или явления, передать его неповторимость. Метафора выражает устойчивое подобие, раскрывающее сущность предмета. Известны научные, визуальные метафоры человеко-машинного интерфейса и др. Они не могут получать истинностной оценки.

Символ [16] — вещь, индуцирующая состояния сознания, через которые психика индивида включается в определенные содержания, структуры сознания. Это беспредметная, самостоятельная, знакоподобная категория. Символы — репрезентации не предметов и событий, а сознательных посылок и результатов сознания. Современной цивилизации присущ «недостаток символизма»: оказываясь внутри знаковых систем, символы «переводят нас» из ситуации понимания в ситуацию знания. Символы сознания переводятся в знаки культуры. Символ упрощает форму и редуцирует содержание образа. Геометрические фигуры имеют символические смыслы:

- прямая линия — знак сферы разума;
- точка пересечения линий — соединение неба и земли, символ концентрации времени;
- круг — символ вечности, времени, совершенства, неба, внутреннего мира;
- квадрат — символ равенства, единообразия, порядка, мудрости, земли, внешнего мира.

3. Визуальное мышление, визуальное управление, ролевые визуальные модели однородной и неоднородной задачи

В 1970 г. Р. Арнхейм (США), автор многих работ по теории и психологии искусства, опубликовал книгу «Визуальное мышление».

Визуальное мышление (англ. *visual thinking*) – способ творческого решения задач, проблемных в плане образного моделирования. Основа визуального мышления – наглядно-действенные и наглядно-образные рассуждения [17].

Р. Арнхейм определил визуальное мышление на примере задачи (рис. 1): «Двух учеников спросили: „Сейчас 3 ч 40 мин; сколько времени будет через полчаса?“». Ответ и решение первого ученика: $4\text{ ч }10\text{ мин}$; он переводил задачу в количества, оперировал с числами: $40 + 30 = 70$; $70 - 60 = 10$; он мыслил логико-математически. Ответ и решение второго ученика: $4\text{ ч }10\text{ мин}$; он помнит, что циферблат круглый, а полчаса – половина этого круга; в 3 ч 40 мин минутная стрелка стоит под косым углом слева на расстоянии двух пятиминутных делений от вертикали; по стрелке, по диаметру он разрезает диск пополам и попадает в точку двух делений справа от вертикали, на противоположной стороне; переводит ответ в числовую форму: $4\text{ ч }10\text{ мин}$; он применил визуальный образ; для него целое – простая форма, половина – это половина этой формы, а ход времени – не увеличение количества, а круговое движение в пространстве; он мыслил визуально-образно».

38



Рис. 1. Визуально-образное решение задачи вторым учеником

Визуальное управление (англ. *visual management*) – ясный, эффективный способ организовать работу и отчитаться о ней, чтобы все видели работу всех, а организация стала «прозрачной», процесс, обеспечивающий человеческий фактор простыми наглядными сигналами для немедленного реагирования на новые условия и обстоятельства.

В основу моделирования и системогенеза внешнего и внутреннего мира централизованного визуального управления [1] положены:

- 1) новая научная картина мира [1];
- 2) триада категорий «вещь-свойство-отношение» А. И. Уемова [18];
- 3) подход Н. И. Климкина к механизму человеческого мышления, реализуемому в оппозиции динамических звеньев – предметно-образовательного кода (внутренняя речь, связи предметны, конвенционное правило ситуативно) и речедвигательного кода (экспрессивная речь);
- 4) концептосфера З. Д. Поповой и И. А. Стернина [11] и концепты Ю. С. Степанова [10];



5) базисный набор символов схематизированного визуально-образного представления картины мира [19]: объекты, вещи, ресурсы и их свойства внешнего мира – прямоугольные, квадратные, треугольные формы; объекты, ресурсы внутреннего мира – круговые, овальные формы; отношения – линии со стрелками или без них различной формы и толщины (рис. 2, *в, г*);

6) следующее понимание: вещь, ресурс – отношение свойств; свойство – отношение вещей, ресурсов; отношение – свойство вещей, ресурсов. Отношение – то, что образует вещь, ресурс из данных элементов (свойств, других вещей, ресурсов), набор ценностей и убеждений, связанных с определенной вещью, ресурсом.

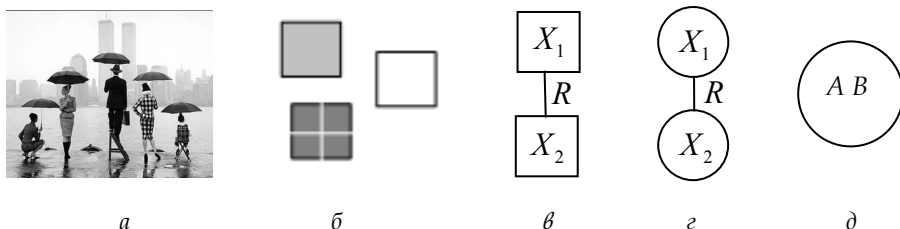


Рис. 2. Представление отношений:

- a* – тождество в художественном образе – отношение полностью сходных объектов; *б* – физическое сходство формы доминирует над различия в художественном конструировании; *в, г* – тождество в схемах рольевых концептуальных моделей: X_1, X_2 – роли претендентов отношения R – «тождество»;
- д* – изображение тождества кругами Эйлера: объемы понятий A и B совпадают

Отображения отношений есть в искусстве, в частности изобразительном, в художественном конструировании, в «слайдологии», в когнитивной психологии, в языкознании и когнитивной лингвистике, в философии, информатике, дискретной математике и математической логике. В русском языке около 45 синонимов к слову «отношение», наиболее употребимы: связь, любовь, чувство, участие, позиция, оценка, обращение, признание, масштаб, близкие отношения, соотношение, взаимоотношение и расположение. Культура и наука выработали широкий спектр терминов и представлений отношений (рис. 2): от композиции художественного образа до формулы и двухместного предиката $P(A_1, A_2)$ в логике и знаков математических операций ($=, >, <, \neq, \triangleleft, \cong$, и др.): форма, стилизация, трансформация, пропорции, контраст, нюанс, ритм, масштаб; вербально-символьные и визуально-образные грамматики, системы хранения знаний: продукционные, семантические сети, концептуальные графы, онтологии; ментальные и концептуальные карты, схемы, потоковые диаграммы и схематизированные представления, двумерные таблицы и реляционная алгебра, математические символы, формулы, кластеры, графы, матрицы, предикаты и логика предикатов.

Проблемные ситуации визуального управления и коммуникации записываются фигурами, символизирующими отношения и их взаимо-

действие. Цельность, единство и совокупность, полноту и ограниченность, постоянство и цикличность, вечность и бесконечность проблемы на рисунке 3, а символизирует белый круг («круг единомышленников», «круг общения»). Коллективный анализ детализирует проблему через контрастные области неоднородности на рисунке 3б, проявляющиеся в разнообразии моделей внешнего мира, фаз управления, целей, задач, оценок, убеждений, переменных и др. В каждой из областей отображающих «однородные задачи» специфицируются обслуживающие задачи и координирующая задача (к-задача, серый круг на рисунке 3в). На рисунке 3а – в отношения выражены правилами композиции и визуально-образных грамматик. Далее композиция схематизируется: вводятся окружности – символы задач, взаимодействие символизируют отрезки линий, координацию – пунктирные линии (рис. 3г). На рисунке 3д дана трансформированная, схематизированная форма «проблема», редуцированная в декомпозицию обслуживающих задач.

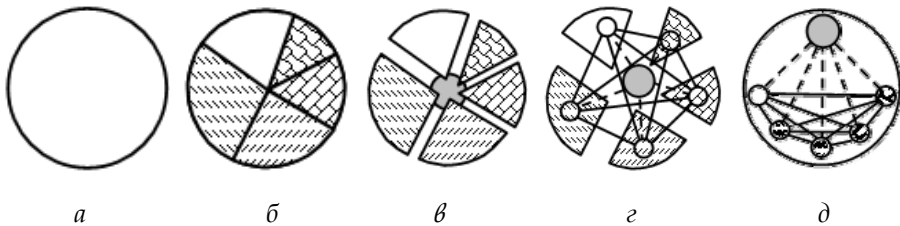


Рис. 3. Формообразование графического высказывания «проблема»: а – исходная форма проблемы «круг»; б–д – графические высказывания «состав проблемы», «однородные и к-задачи», «декомпозиция и координация задач», «проблема» соответственно

Обозначения на рисунке 3: круг – проблема/задача; линия – взаимодействие задач; пунктир – координация; штриховка – неоднородность информации.

Ниже приведен знак «схема ролевых концептуальных моделей», обозначающий понятие задачи как «однородной задачи» – prb^h через понятия «метода» – MET , «свойства» – PR и «состояния» – ST :

$$prb^h = R^{prb\ st} (prb_1, GL^h) \circ R^{prb\ pr} (prb_1, DAT^h) \circ R^{prb\ met} (prb_1, MET^h) \circ R^{prb\ pr} (prb_1, KL^h) \circ R^{prb\ pr} (prb_1, SPC^h), \quad (1)$$

где \circ – операция склеивания концептов [6]; $GL^h \subseteq ST$, $DAT^h \subseteq PR$, $MET^h \subseteq MET$ – схемы ролевых концептуальных моделей (PKM) цели, исходных данных и метода решения задачи prb^h ; $KL^h \subseteq PR$ – классификатор – схема PKM фазы: учет, контроль, анализ, нормирование, прогнозирование, планирование, регулирование, организация; класс переменных для решения prb^h : детерминированные, стохастические, нечеткие или четкие лингвистические, логические; класс задачи: раз-



мещения, расписания, маршрутизации и другие, и множество классов отношений «сравнения», «пространства», «времени», «причинности» для решения prb^h ; $SPC^h \subseteq PR$ – спецификатор – схема РКМ идентификатора, свойства сред разработки, проекта, экспертов и измерений.

Знаки ПС-методологии ФГиИС отображены модифицированными концептуальными картами. Категории «ресурс», «свойство», «метод», «состояние», «задача» и «оценка» изображаются в овальном блоке (рис. 4, а), вверху – категория, а внизу – имя. Отношения представляются стрелкой (рис. 4, б) и именем.

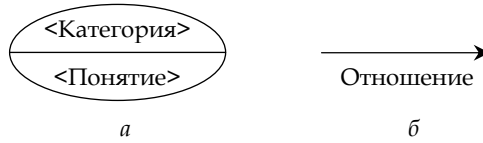


Рис. 4. Визуализация понятий и отношений

Используя введенные обозначения и схему РКМ (1), построим рольевую визуальную модель задачи (рис. 5).

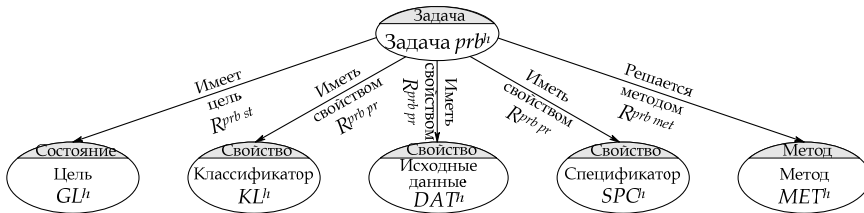


Рис. 5. Рольевая визуальная модель задачи

Для представления проблем как неоднородных задач prb^u используем знак, конструируемый по следующей схеме РКМ:

$$\begin{aligned}
 prb^u &= R^{prb pr} (prb_1, DAT^u) \circ R^{prb met} (prb_1, MET^u) \circ R^{prb pr} (prb_1, SPC^u) \circ \\
 &\circ R^{prb st} (prb_1, GL^u) \circ R^{prb pr} (prb_1, KL^u) \circ R^{prb act} (prb_1, ACT^u) \circ R^{prb est} (prb_1, EV^u) \circ \\
 &\circ R_2^{prb prb} (prb_1, PRB^h) \circ R_2^{prb prb} (prb_1, prb_k^h) \circ R_3^{prb prb} (PRB^h, PRB^h) \circ \\
 &\circ R_4^{prb prb} (prb_1, PRB^h) \circ R_4^{prb prb} (prb_1, prb_k^h) \circ R_5^{prb prb} (prb_k^h, PRB^h),
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $GL^u \subseteq ST$, $DAT^u \subseteq PR$, $MET^u \subseteq MET$ – схемы РКМ цели, исходных данных, условий; $KL^u \subseteq PR$ – классификатор; $SPC^u \subseteq PR$ – спецификатор: идентификатор prb^u , схема РКМ ЛПП; ACT^u – схема РКМ операции, исполняющей решение prb^u ; $EV^u \subseteq EST$ – эвалюэйтор – схема РКМ оценок результатов операции ACT^u , оценки результатов решения задач $PRB^h = \{prb_1^h, \dots, prb_{N_{prb}^h}^h\}$ из состава prb^u , где N_{prb}^h – количество элементов множества; prb_k^h – задача координации; $R_2^{prb prb} (prb_1, PRB^h)$ –

состав prb^u ; $R_3^{prb\ prb} (PRB^h, PRB^h) - \widehat{PRB}^u = \{\widehat{prb}_1^u, \dots, \widehat{prb}_{N_{prb}^u}^u\}$ – декомпозиции проблемы prb^u , $\widehat{prb}_j^u = (PRB^h, R_3^{prb\ prb})$, $j = 1, \dots, N_{prb}^u$, $R_3^{prb\ prb}$ – отношения декомпозиции prb^u ; $R_4^{prb\ prb}$ – отношения GL^u и GL^h , DAT^u и DAT^h , MET^u и MET^h ; $R_5^{prb\ prb}$ – отношения координации. Знак (2) на рисунке 6 схематизированно изображен ролевой визуальной моделью.

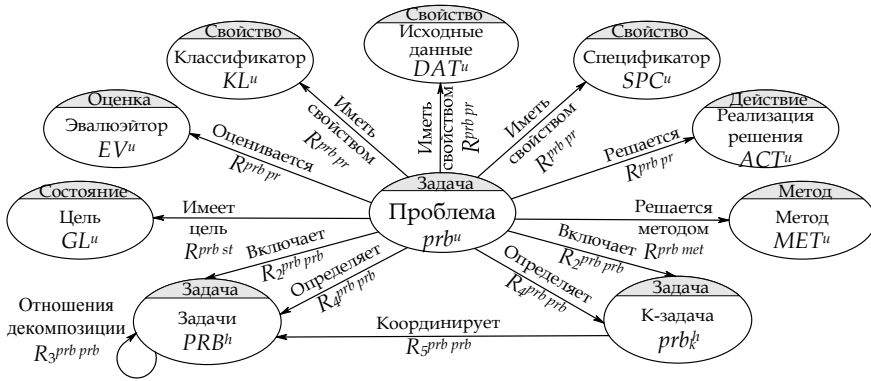


Рис. 6. Ролевая визуальная модель проблемы

Применение ролевых визуальных моделей в централизованном визуальном управлении улучшает качество осмысленной, относительно устойчивой системы задач, в которую удаётся коллективно превратить проблему, направляет и упорядочивает имитационный процесс ее решения в ФГиИС.

4. Ролевые визуальные модели объектов-прототипов и интегрированных методов

В ФГиИС объекты-прототипы (методы) комбинируются крупно- и мелкозернистой гибридизацией [4]. В первой метод – это ресурс разработчика для деятельности по решению задачи и обладающий отличительными свойствами. Отношения метода к задачам, свойствам и действиям – фенотип метода [4].

Во второй методы – это отношения трех частей:

- 1) схемы-модели;
- 2) языка ее описания;
- 3) процедуры (алгоритма) поиска (получения) решений на модели.

Схема – концептуальное описание в некоторой теории (например, «система массового обслуживания», «операция», «игра»). Язык описания модели (язык) включает базовые и производные от них знаки, имеет грамматику. Процедура решений на модели (процедура), деятельностная, алгоритмическая составляющая, реализующая путь к результату и формирующая разнообразие методов.

Технология ФГиИС с гетерогенным визуальным полем (ГВП) предполагает рассмотрение вопросов формообразования объектов-прототи-



пов и объектов-результатов внутреннего мира разработчиков – «методов» (рис. 7), «интегрированных методов» (см. рис. 11) и «интегрированных моделей» (см. рис. 12).

Цельность, единство, полноту и ограниченность метода на рисунке 7, а символизирует белый круг. Неоднородность информации о методе проявляется в разнообразии взглядов, представлений, аспектов, частей ментального объекта «метод»: фенотипа и генотипа, нижних и верхних белых кругов соответственно (рис. 7б).

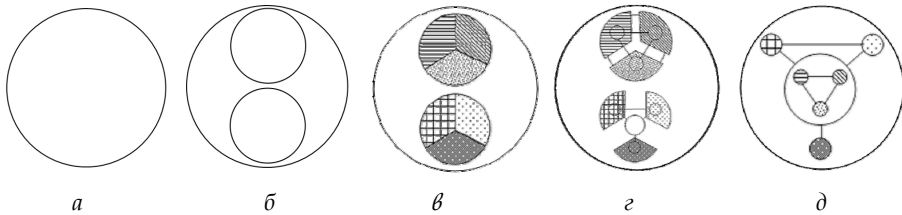


Рис. 7. Формообразование графического высказывания «метод»:

а – исходная форма метода «круг»; б–д – графические высказывания «двухуровневое представление метода», «неоднородность генотипа и фенотипа», «генотип и фенотип метода», «метод» соответственно

Обозначения: круг – метод; линия – отношения; – модель; – язык; – процедура; – свойство; – действие; – задача

Информация о фенотипе и генотипе метода разнообразна:

- 1) отличительные свойства как ресурса разработчика, действия по решению обслуживающей задачи;
- 2) схема, язык, процедура по числу заштрихованных секторов верхнего и нижнего кругов на рисунке 7, в соответственно.

Далее композиция схематизируется. На рисунке 7, г в областях неоднородности формы «генотип метода» вводятся окружности – символы схемы, языка; процедуры и линии – символы рольевых отношений «схема-язык», «язык-процедура» и «процедура-схема». На неоднородностях формы «фенотип метода» вводятся окружности – символы свойств, действий и задачи. Белый круг в центре формы фенотипа символизирует метод как ресурс разработчика. Имплицированные композиционные отношения эксплицируются линиями отношений «ресурс-свойства», «ресурс-действие», «ресурс-задача», «действие-свойство». На рисунке 7, д дана трансформированная, схематизированная форма «метод», редуцированная в отношения генотипа и фенотипа.

Формализовано метод met^3 (3) специфицируется выражением $met^3 = \widehat{met}^3 \circ \widetilde{met}^3$, где \widetilde{met}^3 , \widehat{met}^3 – генотип и фенотип соответственно. Знак генотипа метода специфицируется следующим выражением:

$$\widetilde{met}^3 = R^{mod\ mod} (mod, mod) \circ R^{lang\ lang} (lang, lang) \circ R^{proc\ proc} (proc, proc) \circ R^{mod\ lang} (mod, lang) \circ R^{mod\ proc} (mod, proc) \circ R^{lang\ proc} (lang, proc),$$

где mod , $lang$, $proc$ – схемы РКМ схемы-модели, языка и процедуры соответственно; $R^{mod\ mod}$, $R^{lang\ lang}$, $R^{proc\ proc}$, $R^{mod\ lang}$, $R^{mod\ proc}$, $R^{lang\ proc}$ – от-

ношения «схема — схема», «язык — язык», «процедура — процедура», «схема — язык», «схема — процедура», «язык — процедура» соответственно. Знак фенотипа метода представляется выражением (значения классификатора, схемы, языка, процедуры доступны в [4]:

$$\begin{aligned} \widehat{met}^a = & R^{met\ met} \left(met, \widetilde{met}^a \right) \circ R^{met\ pr} \left(met, ch_1 \right) \circ R^{met\ pr} \left(met, ch_2 \right) \circ R^{met\ pr} \left(met, ch_3 \right) \circ \\ & \circ R^{met\ act} \left(met, ACT_1 \right) \circ R^{met\ act} \left(met, ACT_2 \right) \circ R^{met\ prb} \left(met, prb^h \right) \circ R^{met\ pr} \left(met, SPC^m \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где $ch_1 \in CH \subseteq PR$ — классификатор; $ch_2 \in CH$ — схема-модель; $ch_3 \in CH$ — язык описания; $ACT_1 \subseteq ACT$ — процедура получения решения; $ACT_2 \subseteq ACT$ — процедура обучения; SPC^m — спецификатор, схема РКМ погрешности решения, гибридных возможностей; $R^{met\ met}$, $R^{met\ pr}$, $R^{met\ act}$ — отношения определения; $R^{met\ prb}$ — отношения предназначения.

Элемент ФГиИС, моделируя решение обслуживающей задачи или выполняя вспомогательные операции, построен некоторым методом и имеет свойства. Спецификацию элемента можно получить трансформацией графических форм-высказываний (рис. 8). Исходная форма — белый круг символизирует элемент как ментальную сущность внутреннего мира разработчика (рис. 8, а), специфицируемую в трех контрастных областях: методологии моделирования (конструирование, тестирование, имитацию решения обслуживающей задачи и эксплуатацию), информации о методе, как объекте-прототипе и информации о свойствах элемента: «вход», «выход», «состояние», временная задержка и др.

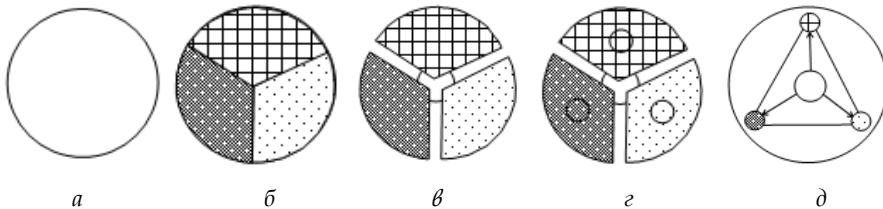


Рис. 8. Формообразование графического высказывания «элемент»: а — базисная форма «круг»; б–д — графические высказывания о разнообразии информации об элементе, «структура элемента», «элемент-ресурс разработчика», «элемент» соответственно

Элемент крупнозернистой ФГиИС, как ресурс разработчика реализуется посредством метода, который связан со свойствами и состоянием элемента и показан на рисунке 8 с белым кругом в центре. В любой момент времени выход зависит от состояния в предыдущий момент времени и входа.

На рисунке 8, з отношения определения — стрелки, а ролевые отношения «ресурс-свойства», «ресурс-моделирование», «свойства-моделирование» — линии.



ПКМ функционального элемента (ф-элемента) ФГиИС специфицирована знаком α_n^{zh} , $n = 1, \dots, N$, где N – число ф-элементов:

$$\alpha_n^{zh} = R_1^{res\ met} (res^3, met_n^3) \circ R_1^{res\ pr} (res^3, pr_n^{3i}) \circ R_1^{res\ pr} (res^3, pr_n^{3o}) \circ R_1^{res\ st} (res^3, st_n^3) \circ R_1^{st\ st} (st_n^3(t), st_n^3(t))^{z(-1)} \circ R_1^{pr\ st} (pr_n^{3i}(t), st_n^3(t))^{z(-1)} \circ R_1^{st\ pr} (st_n^3(t), pr_n^{3o}(t)) \circ R_1^{res\ act} (res^3, ACT_n^{mod}), \quad (4)$$

где res^3 – ресурс-элемент ФГиИС $\alpha_n^3 \in RES^3 \subseteq RES$; met_n^3 – метод конструирования элемента; $pr_n^{3i} \in PR_n^3 \subseteq PR$ – «вход»; $pr_n^{3o} \in PR_n^3 \subseteq PR$ – «выход»; st_n^3 – «состояние»; ACT_n^{mod} – действия разработчика по моделированию метода; $R_1^{res\ pr}$ – отношение «иметь свойством», $(R_1^{st\ st})^{z(-1)}$ $z(-k)$ – задержка, а k – величина задержки, т. е. $R(x(t), x(t))^{z(-k)} = R(x(t), x(t+k))$; $(R_1^{st\ st})^{z(-1)}$ и $(R_1^{pr\ st})^{z(-1)}$ – отношения с задержкой «состояние – состояние» и «вход – состояние»; $R_1^{st\ pr}$ – отношение «состояние – выход»; $R_1^{res\ act}$ раскрывают методологический аспект. Знак (4) на рисунке 9 схематизировано изображен ролевой визуальной моделью.

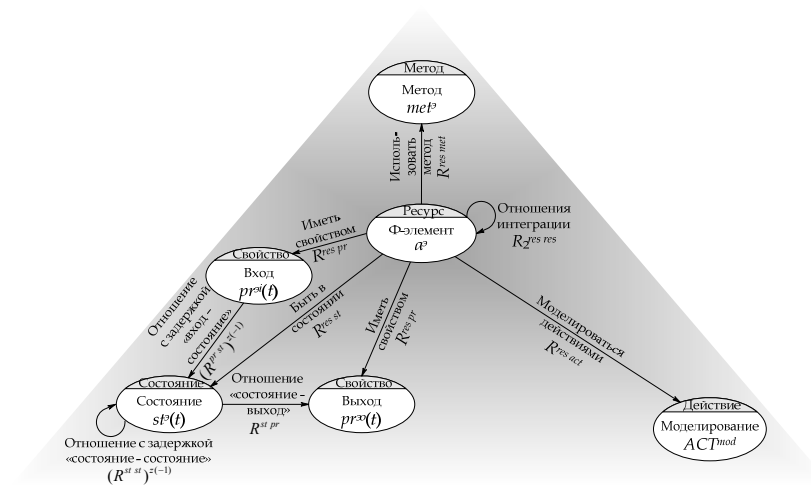


Рис. 9. Ролевая визуальная модель ф-элемента ФГиИС

К-элемент α_k^{3r} , контролирует промежуточные результаты (состояния) работы ф-элементов α_n^{zh} : на входы pr_k^{3i} к-элемента подается информация о промежуточных результатах работы PR^{3o} ф-элементов α_n^{zh} в момент времени t , изменяющая $st_k^3(t+1)$. В соответствии с этим состоянием методом координации met_k^3 генерируется множество коор-

динирующих действий (к-действий) ACT_k^3 , изменяющих входы pr_n^{3i} одного или нескольких ф-элементов α_n^{3i} в (4), и определяются выходы к-элемента pr_k^{3o} . РКМ к-элемента специфицируется знаком

$$\alpha_k^{3r} = R_1^{res\ met} (res^3, met_k^3) \circ R_1^{res\ pr} (res^3, pr_k^{3i}) \circ R_1^{res\ pr} (res^3, pr_k^{3o}) \circ R_1^{res\ st} (res^3, st_k^3) \circ R_1^{st\ st} (st_k^3(t), st_k^3(t))^{z(-1)} \circ R_1^{pr\ st} (pr_k^{3i}(t), st_k^3(t))^{z(-1)} \circ R_1^{st\ pr} (st_k^3(t), pr_k^{3o}(t)) \circ R_1^{res\ act} (res^3, ACT_n^{mod}) \circ R_2^{res\ act} (res^3, ACT_k^3) \circ R_1^{st\ act} (st_k^3(t), ACT_k^3), \quad (5)$$

где ACT_k^3 – множество допустимых к-действий; $R_2^{res\ act}$ – отношения «выполнять действия»; $R_1^{st\ act}$ – отношения между состоянием $st_k^3(t)$ к-элемента и необходимыми к-действиями ACT_k^3 . Знак (5) на рисунке 10 схематизированно изображен ролевой визуальной моделью.

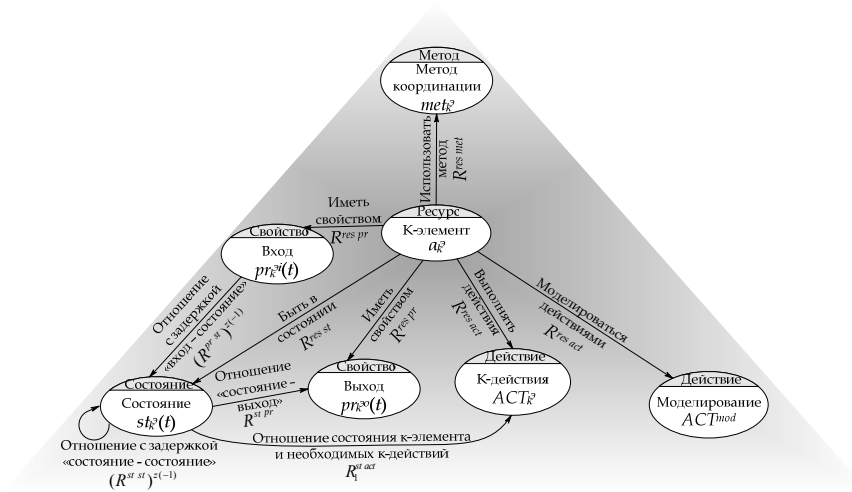


Рис. 10. Ролевая визуальная модель к-элемента ФГиИС

Гетерогенное модельное поле (ГМП) и ГВП состоят из элементов – ресурсов ФГиИС для моделирования решения обслуживающих проблему задач. Элементы из ГМП – знаки решения вербальных обслуживающих задач из декомпозиции проблемы. Элементы из ГВП – образы решения графических задач из декомпозиции проблемы. Возможен вариант, когда одна и та же задача решается элементами из разных полей, а также имеет несколько элементов в каждом поле: ГМП и ГВП могут быть функционально избыточными.

Под интегрированным методом [4] будем понимать некоторое подмножество отношений $R_u^{met\ met} \subseteq R_u$, заданное на множестве генотипов методов $\{\widetilde{met}^3\}$, содержащем минимум две структуры методов работы с различными видами знаний, то есть

$$met^u = \langle \{\widetilde{met}^3\}, R_u^{met\ met} \rangle. \quad (6)$$



На рисунке 11 изображено схематизированное графическое высказывание «интегрированный метод».

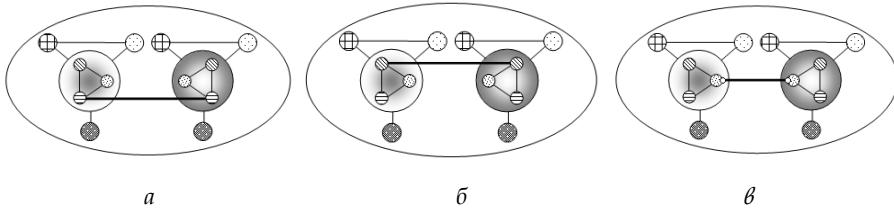


Рис. 11. Схематизированное графическое высказывание «интегрированный метод»: $a-v$ – интеграция по схеме, по языку, по процедуре соответственно

Обозначения: – отношения интеграции знаний: извлечения, включения, дополнения, сравнения, аргументации, обобщения, управления, рольевые; – метод 1; – метод 2; – модель; – язык; – процедура; – свойство; – действие; – задача

Под интегрированной моделью [4] понимается подмножество отношений $R_u^{mod\ mod} \subseteq R_u$, заданное на множестве автономных моделей $MOD = \bigcup_k MOD^{a\ k}$, $k \in \{An, St, Ne, Fu, Ex, Ge, Lg, Vi\}$ содержащем минимум две модели с различными видами знаний, т. е.

$$mod_u = \langle MOD, R_u^{mod\ mod} \rangle. \tag{7}$$

На рисунке 12 изображено схематизированное графическое высказывание «интегрированная модель».

Из (6) и (7) следует, что интегрированный метод – метод-система, построенная отношениями интеграции на множестве генотипов других методов, а интегрированная модель – это модель-система, построенная отношениями интеграции на множестве других моделей. Интегрированная модель (7), разработанная в ответ на редукцию проблемы, считается методом ее решения.

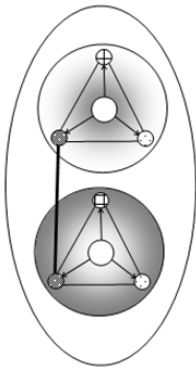


Рис. 12. Схематизированное графическое высказывание «интегрированная модель» (интеграция элементов по свойствам «вход» и «выход») Обозначения: штриховкой показаны разные элементы (модели)



Ролевая концептуальная модель ФГИИС как интегрированной модели записывается знаком:

$$\begin{aligned} \alpha^u = & R_1^{res\ met} (res_A^u, met^u) \circ R_1^{res\ pr} (res_A^u, pr^{ui}) \circ R_1^{res\ pr} (res_A^u, pr^{uo}) \circ R_1^{st\ st} (res_A^u, st^u) \circ \\ & \circ R_1^{st\ st} (st^u(t), st^u(t))^{z(-1)} \circ R_1^{pr\ st} (pr^{ui}(t), st^u(t))^{z(-1)} \circ R_1^{st\ pr} (st^u(t), pr^{uo}(t)) \circ \\ & \circ R_1^{res\ res} (res_A^u, RES^3) \circ R_2^{res\ res} (RES^3 \setminus \{\alpha_k^{3r}\}, RES^3 \setminus \{\alpha_k^{3r}\}) \circ R_1^{pr\ pr} (pr^{ui}, PR^3) \circ \\ & \circ R_2^{pr\ pr} (PR^{30}, pr^{uo}) \circ R_3^{pr\ pr} (PR^{30}, pr_k^{3i}) \circ R_1^{act\ pr} (ACT_k^3, PR^3 \setminus PR_k^{3i}), \end{aligned} \quad (8)$$

где res_A^u – знак ФГИИС как ресурса решения проблемы; met^u – знак «интегрированный метод»; pr^{ui} , pr^{uo} , st^u – вход, выход и состояние ФГИИС; RES^3 – непустое множество минимум из двух элементов α_n^{3i} (4) и к-элемента α_k^{3r} (5); $(R_1^{st\ st})^{z(-1)}$, $(R_1^{pr\ st})^{z(-1)}$, $R_1^{pr\ pr}$ – отношения функционирования ФГИИС; $R_1^{res\ res}$ – отношения включения элементов из RES^3 в состав ФГИИС res_A^u ; $R_2^{res\ res}$ – отношения интеграции элементов из RES^3 ; $R_1^{pr\ pr}$ – отношения входов ФГИИС и входов элементов; $R_2^{pr\ pr}$ – отношения выходов элементов и выходов ФГИИС; $R_3^{pr\ pr}$ – отношения между выходами элементов и входом к-элемента α_k^{3r} ; $R_1^{act\ pr}$ – отношения координации. Отношения функционирования ФГИИС $(R_1^{st\ st})^{z(-1)}$, $(R_1^{pr\ st})^{z(-1)}$, $R_1^{pr\ pr}$ не задаются априори, как при конструировании элементов, а фиксируются и используются при объяснении хода решения проблемы. Таким образом, по состоянию ФГИИС $st^u(t)$ в момент времени t меняются исходные данные $pr^{ui}(t+1)$ для ФГИИС, но уже в момент времени $t+1$, то есть для следующей итерации.

Ролевая визуальная модель ФГИИС (8) (рис. 13) отображает понятия и отношения наглядными, упрощая восприятие и понимание, активизируя дополняющие друг друга вербально-символьное и визуально-образное мышления разработчиков ФГИИС, привлекает экспертов без навыков программирования. Визуальная фиксация предложений разработчиков дает им понять мгновенно, что они услышаны, чего сложно достичь вербально-символьными моделями.

Такое представление ФГИИС отсылает к отдельным словам или образам и создает цельную картину с внутренними взаимосвязями, что помогает разработчику осознать наличие в обоих языках устойчивого смысла моделей. Визуализация метода решения проблемы позволяет его пользователям: экспертам и ЛППР – увидеть его внутреннюю структуру, принцип работы метода, сделать сложное понятным, облачив его в зримую форму, чтобы повысить доверие к результатам его работы.

ФГИИС с ГМП и ГВП имитирует интеграцию знаний в коллективе экспертов, работающих над проблемной ситуацией [20]. Символизм этого показан на рисунке 14 визуальнo: трансформацией графических высказываний «проблема», «гетерогенные модельное и визуальное поля» и «функциональная гибридная интеллектуальная система с гетерогенными модельным и визуальными полями», что может быть положено в основу визуализации ПС методологии и технологии ФГИИС.

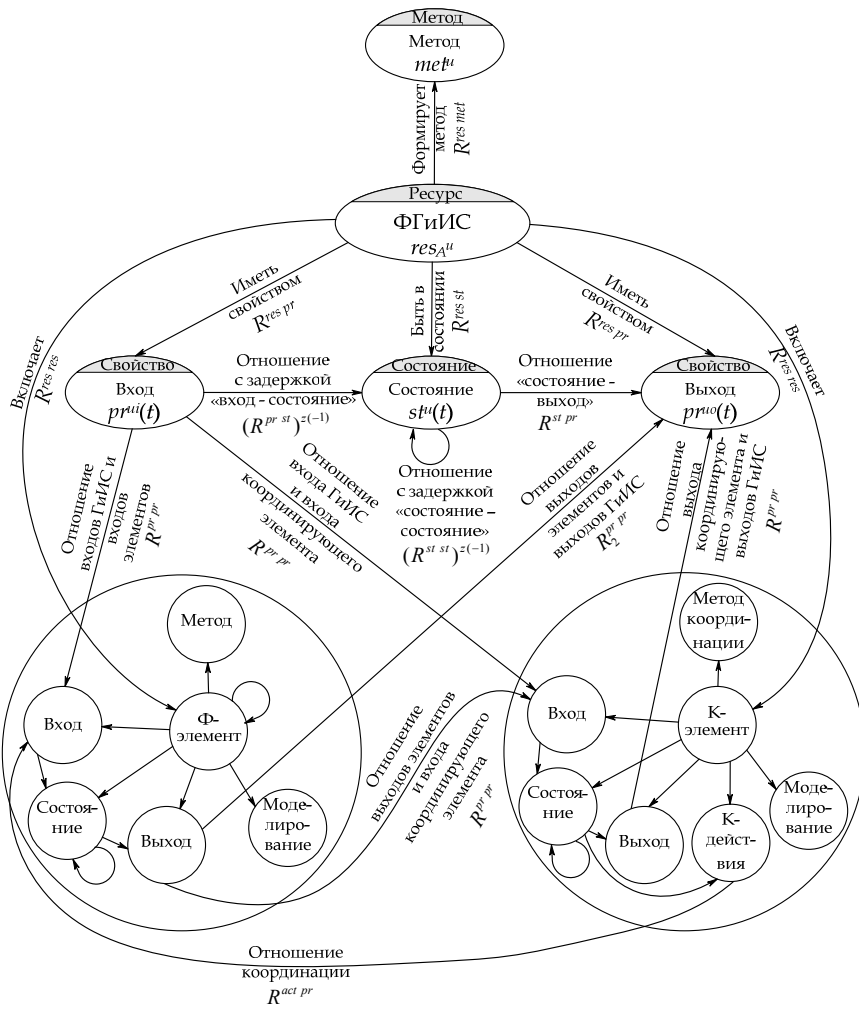


Рис. 13. Рольевая визуальная модель ФГИИС

Символ ФГИИС на рисунке 14 в соотнесен имплицитными и эксплицитными рольевыми отношениями с метафорой «совещание за круглым столом» группы экспертов (пять пиктограмм экспертов) под управлением ЛПР (пиктограмма над окружностью). Элементы ФГИИС, моделируя экспертные знания, используют различные методы решения обслуживающих проблему задач. Пиктограмма ЛПР визуализирует элемент, имитирующий работу реального ЛПР по редукции проблемы, распределению подзадач по элементам-экспертам в соответствии с их возможностями, координации промежуточных решений и интеграции частных решений элементов-экспертов. Последние — компьютерные модели экспертных знаний. В отличие от элементов-экспертов классических ФГИИС [4] они могут обмениваться как вербально-символьной, так и визуально-образной информацией.

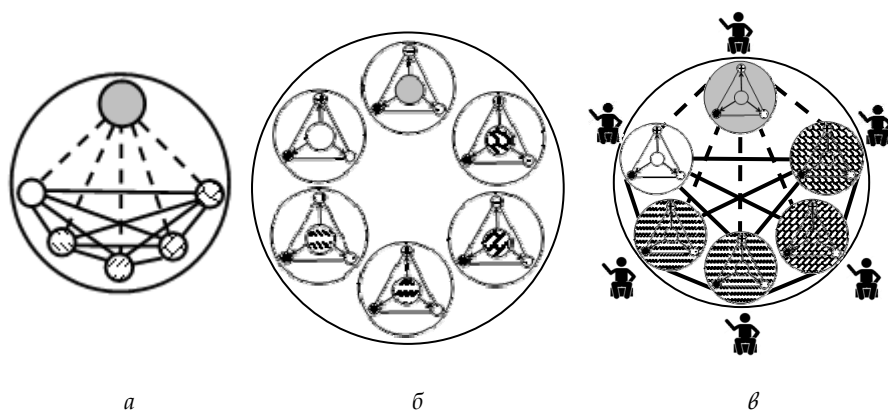


Рис. 14. Схематизированные графические высказывания:
а – «проблема»; б – «гетерогенные модельное и визуальные поля»;
в – «функциональная гибридная интеллектуальная система
с гетерогенными модельным и визуальным полями»

Заключение

В статье представлены визуальные модели гомогенной задачи (задачи) и гетерогенной задачи (проблемы), автономного и интегрированного метода, ФГиИС и ее элементов. Применение этих моделей преодолевает основной недостаток ФГиИС – отображения сотрудничества только логико-математического интеллекта, вербальной коммуникации, левосторонней составляющей рассуждений экспертов ЛПР в условиях неоднородности и неопределенности информации. В моделях сочетаются вербально-символьные и визуально-образные языки, активизируя логико-математические и визуально-пространственные, правосторонние рассуждения, соответственно, обеспечивая коммуникацию при обсуждении проблем, что релевантно феномену человеческого мышления. Такое разнообразие информации воссоздает и углубляет понимание проблемы.

Применяя методы визуального управления эксперты смогут увидеть проблему через «призму» ее декомпозиции – системы обслуживающих задач, сконструировать метод ее решения, используя правополушарное, визуально-образное мышление. Визуализация снизит науко- и трудоемкость конструирования и сопровождения гибридных и синергетических интеллектуальных систем, позволит наблюдать за ходом преодоления проблемной ситуации, сделать решения, которыми обмениваются элементы ФГиИС понятными для пользователя, повысив доверие к результатам-консультациям.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-07-00271а).



Список литературы

1. Колесников А. В., Листопад С. В. Визуальное управление: Увидеть внешний и внутренний мир коллективного интеллекта // Системный анализ и информационные технологии САИТ-2017 : тр. 7-й междунар. конф. М., 2017. С. 25–38.
2. Попов В. П., Крайнюченко И. В. Глобальный эволюционизм и синергетика ноосферы. Ростов н/Д, 2003.
3. Боно Э. Водная логика. Минск, 2006.
4. Колесников А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. СПб., 2001.
5. Kolesnikov A., Yashin A. Hybrid simulation of stratified systems // Mathematical Modelling and Analysis MMA 99: Pr. of the 4th Intern. Conf. Vilnius, 1999. P. 51.
6. Колесников А. В. и др. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М., 2011.
7. Спиридонов В. Ф. Психология мышления: Решение задач и проблем. М., 2006.
8. Пушкин В. Н. Оперативное мышление в больших системах. М., 1965.
9. Моисеева А. П. Основы теории коммуникации. Томск, 2004.
10. Степанов Ю. С. Концепты. Тонкая пленка цивилизации. М., 2007.
11. Попова З. Д., Стернин И. А. Лексическая система языка: Внутренняя организация, категориальный аппарат и приемы описания. М., 2011.
12. Арутюнова Н. Д. Язык и мир человека. М., 1999.
13. Леонтьев А. Н. Образ мира. М., 1983.
14. Маслов Ю. С. Введение в языкознание. М., 1987.
15. Жинкин Н. И. О кодовых переходах во внутренней речи // Вопросы языкознания. 1964. № 6. С. 26–38.
16. Мамардашвили М. К., Пятигорский А. М. Символ и сознание. М., 1997.
17. Роэм Д. Практика визуального мышления. М., 2014.
18. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем. М., 1978.
19. Колесников А. В., Листопад С. В. Концептуально-визуальные основы виртуальных гетерогенных коллективов, поддерживающих принятие решений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. III Всерос. Пospelовской конф. с междунар. участием. Калининград, 2016. С. 8–56.
20. Колесников А. В., Кириков И. А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М., 2007.

Об авторах

Александр Васильевич Колесников – д-р техн. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, ст. науч. сотр., КФ ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Россия.

E-mail: avkolesnikov@yandex.ru

Сергей Викторович Листопад – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., КФ ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Россия.

E-mail: ser-list-post@yandex.ru

Анна Сергеевна Денисова – магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: annadenisova312@mail.ru



Александр Евгеньевич Колодин — асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: alex_kolodin@mail.ru

The authors

Dr Alexander Kolesnikov, Prof., I. Kant Baltic Federal University; senior scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: avkolesnikov@yandex.ru

Dr Serge Listopad, senior scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: ser-list-post@yandex.ru

Anna Denisova, student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: annadenisova312@mail.ru

Alexander Kolodin, PhD student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: alex_kolodin@mail.ru