

УДК 004.89

А. В. Колесников, С. В. Листопад, Ф. Г. Майтаков

МЕТАЯЗЫК ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВИЗУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ: УРОВНИ ЗАДАЧ И МОДЕЛЕЙ

73

Представлено описание трех уровней визуального метаязыка, разработанного для гибридных интеллектуальных систем управления электросетями: 1) задач и проблем; 2) моделей рассуждений экспертов; 3) интегрированных моделей коллективного интеллекта. Визуальный метаязык качественно меняет работу субъекта управления, позволяя ему с одного взгляда распознать проблемную ситуацию и «увидеть» ее решение без логических умозаключений.

The paper presents a description of three levels of visual meta-language developed for hybrid intelligent systems of electrical networks management: 1) tasks and problems; 2) patterns for expert reasoning; 3) integrated models of collective intelligence. Visual metalanguage qualitatively changes the work mode of a managed subject, allowing them immediately to recognize the problematic situation and «see» its solution without logical inferences.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, визуальный язык, визуальные рассуждения.

Keywords: decision support, visual language, visual reasoning.

Введение

Отображение гибридного интеллекта [1] со взаимодействующими, сотрудничающими и взаимодополняющими друг друга в интересах решения задач разновидностями интеллекта [2] в компьютерных моделях воплотилось в функциональных гибридных интеллектуальных системах (ГиИС, ФГиИС) [3–6] для разрешения проблемных ситуаций несколькими методами имитации интеллектуальной деятельности человека. Практика применения, с одной стороны, продемонстрировала их эффективность при решении проблем, требующих знаний коллективов экспертов, с другой – выявила их существенный недостаток – отображение сотрудничества посредством имитации только логико-математического интеллекта, языковой коммуникации, левосторонней составляющей рассуждений экспертов и лица, принимающего решения. В связи с этим актуально расширение возможностей ФГиИС отображением в них образных, визуальных, интуитивных, рефлексивных и эмоциональных механизмов мышления и поведения.



Методы визуализации информации для принятия решений исследуются в визуальном управлении и контроле, визуальном мышлении, когнитивной психологии и лингвистике, инженерии образов и других научных направлениях, обобщены и развиты О. С. Анисимовым, Ю. Р. Валькманом, Б. А. Кобринским, О. П. Кузнецовым, Г. С. Осиповым, Д. А. Поспеловым, В. Б. Тарасовым, И. Б. Фоминых, Г. П. Щедровицким, А. Е. Янковской, Р. Арнхеймом, Э. Боно, У. Боуменом, М. Вертхеймером, Д. Розэмом, Д. Сиббетом. Для снижения трудоемкости разработки визуальных языков в [7] предложена неформальная аксиоматическая теория ролевых визуальных моделей на основе принципов теории систем и системного анализа. В работах [8; 9] рассмотрены пять из восьми уровней метаязыка для ФГиИС управления электросетевым хозяйством, разработанного в соответствии с этой теорией. В настоящей работе представлено описание еще трех уровней этого метаязыка для ФГиИС управления электросетевым хозяйством, позволяющего диспетчеру получить целостную картину ситуации в электросети и рекомендации ФГиИС: 1) задач и проблем; 2) моделей рассуждений экспертов; 3) интегрированных моделей рассуждений коллективного интеллекта.

Базовые фигуры визуального метаязыка управления электрическими сетями

В результате анализа работ по визуальному управлению, когнитивной графике, методам визуализации информации [10–13] были выделены фигуры, лежащие в основе визуального метаязыка (рис. 1, *а*), и набор пиктограмм [14] для конструирования схем-изображений ресурсов, свойств и действий при управлении электросетевым хозяйством, примеры которых показаны на рисунке 1, *б*.



Рис. 1. Словарь базовых форм ФГиИС визуального управления:
а – базовые фигуры визуального метаязыка; *б* – примеры пиктограмм для конструирования высказываний о ресурсах, свойствах и действиях

Эти фигуры и пиктограммы визуально и формализованно описаны в двух базовых уровнях метаязыка [8]: 1) концептуального и визуального базиса; 2) ресурсов, действий и свойств. Точка лежит в основе всех измерений, порождает в своем развитии линию, движение. Прямая линия – составляющая всех геометрических фигур. Круг – универсальный символ, означающий целостность, непрерывность и первоначальное совершенство. Квадрат символизирует вещи или ресурсы [14], треугольник – свойства, а стрелка – действия. Кроме того, разработаны визуальные представления иерархий ресурсов, действий и свойств, пространственных и операционально-технологических структур, ситуаций и состояний [9].



Рассмотрим понятия о-ситуаций, р-ситуаций и состояния, так как они необходимы для визуального представления задач и моделей.

Р-ситуация (ситуация на ресурсах) — множество пространственных отношений на ресурсах, используемых в производственных операциях в данный момент времени и в контексте пространственной структуры объекта управления. На рисунке 2, а дано графическое изображение р-ситуации «нормальный режим передачи электроэнергии».

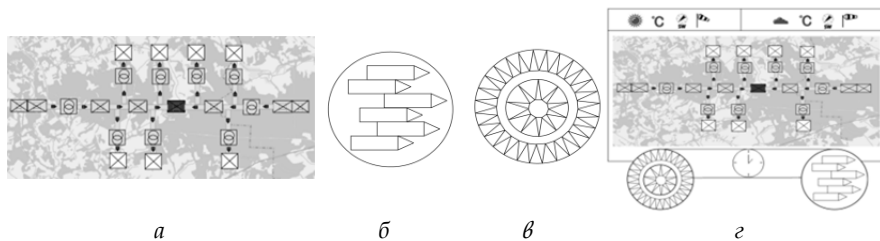


Рис. 2. Графические изображения:

а — р-ситуации «нормальный режим передачи электроэнергии» и ее места (показано условно); б — ролевого визуального отношения «действие — действие» («быть одновременно»); схемы действий не детализированы; в — существенных для решаемой в момент t задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов (ролевые визуальные отношения «свойство — ресурс»); г — состояния объекта визуального управления в момент времени t

Если в р-ситуации акценты сделаны на отображении ролевых пространственных отношений «ресурс — ресурс», то в графическом высказывании о существенных для решаемой в момент t задачи параметрах, качественных нечетких характеристиках ресурсов на рисунке 2, б акценты смещены на ролевые отношения «свойство — ресурс». Это представление относится к внутреннему миру эксперта, поэтому для схематизации использованы окружности. Их четыре. Между центральной и внешней по отношению к ней окружности показаны схемы-изображения свойств статичных ресурсов из текущей р-ситуации. При решении задач на фазе контроля, то есть когда заданы нормативы на значения этих свойств, выход за пределы нормативов может символизироваться изменением цвета треугольников. В этом случае цвет центральной окружности может интегрированно показывать либо норму по свойствам, либо степень отклонения свойств статичных ресурсов от нормативных значений.

О-ситуация (ситуация на операциях) — отношение «одновременно» на множество операций с ресурсами объекта управления в данный момент времени в контексте производственной структуры (процесса). Поскольку сценарий операции — план, формирующий текущую р-ситуацию, то о-ситуация определяет и р-ситуацию. Графическое изображение ролевого визуального отношения «действие — действие» («быть одновременно») представлено на рисунке 2, в. Поскольку это отношение объектов внутреннего мира экспертов, оно изображено в окружности. Понимание схемы-изображения «о-ситуация» предполагает образ-



ное представление временной шкалы и вертикальной линии-отметки на этой шкале, символизирующей текущее время и пересекающей все действия, выполняемые в объекте управления одновременно.

Состояние объекта управления $S(t)$ в момент времени t — совокупность существенных для решаемой в момент t задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов и операций, о-ситуаций, то есть и р-ситуаций [9], причем первая рассматривается в контексте производственной структуры, а вторая — в контексте пространственной структуры объекта управления. На рисунке 2, *г* дана сложная схема-изображение состояния объекта управления в момент времени t , составленная из схем совокупности существенных для решаемой в момент t задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов и операций, а также схем-изображений о- и р-ситуаций.

Она состоит из шести графических изображений. Начнем их рассмотрение сверху, где в двух прямоугольных формах показаны слева направо текущие и прогнозируемые метеоусловия. В центре расположено графическое высказывание о р-ситуации. В нижней части слева находится схема-изображение существенных для решаемой в момент t задачи параметров, качественных нечетких характеристик ресурсов (ролевые визуальные отношения «свойство — ресурс»). В нижней правой части — схема о-ситуации. Область с символом времени «часы» увязывает воедино все формы: ситуацию на ресурсах, о параметрах динамических и статичных ресурсов и ситуацию на операциях.

Уровень задач и проблем

Рассмотрим конструирование схем-изображений о задачах и проблемах визуального управления.

Задача (англ. problem) [15] — психологическая конструкция: 1) условие запуска мыслительного процесса; 2) форма взаимодействия с неопределенностью.

Модель «однородная задача» (англ. homogeneous problem) [3] — объект внутреннего мира субъекта, ментальная конструкция, не имеющая частей (других задач), отличающихся по составу или свойствам, гипотетически не содержащая информации.

Используя базисные символы и ролевые визуальные отношения, построим схему-изображение концепта «задача» (рис. 3, *а*).

Внешняя окружность символизирует задачу как информацию о внутреннем, субъективном мире эксперта. Она условно разделена на две половины: верхнюю и нижнюю. В верхней половине расположена схема-изображение целевого состояния объекта управления (цели), которое должно быть достигнуто решением задачи с пиктограммой «визуального управления» («с одного взгляда увидеть цель»). В верхней половине окружности, под схемой цели, расположена схема-изображение метода решения задачи — окружность с пиктограммой «преобразование форм», символизирующей визуальное мышление. Внутри



окружности, в нижней ее половине расположены схемы свойств задачи, в частности схема текущего состояния объекта управления (исходные данные). На изображении текущего состояния также расположена пиктограмма «визуального управления» («с одного взгляда увидеть состояние объекта управления в текущий момент времени»). Цель выделена серым фоном, что акцентирует ее в сравнении с текущим состоянием. Треугольные формы в нижней половине окружности символизируют слева направо свойства: идентификатор, свойства эксперта, решающего задачу, класс задачи по описанию (вербальная, визуальная), фазу, переменные, свойства среды разработки, свойства проекта.

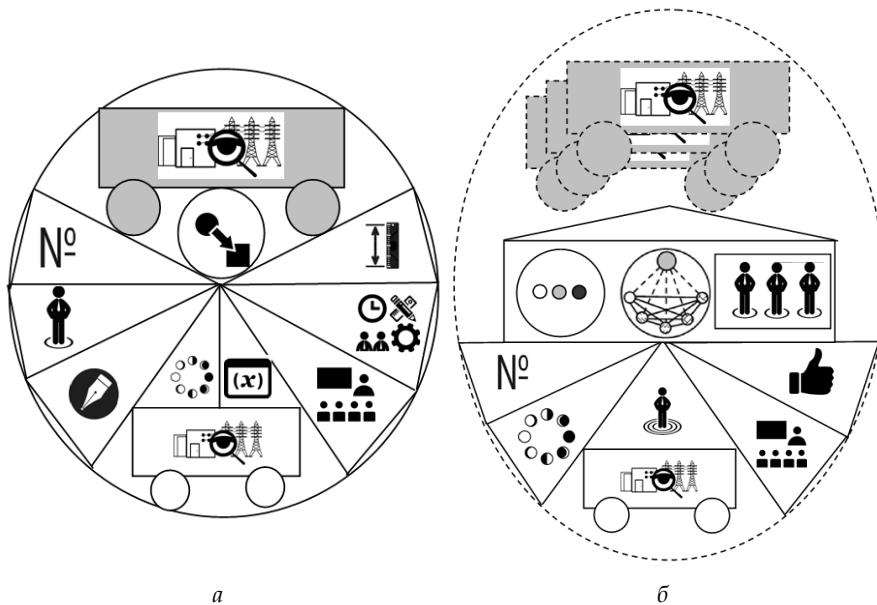


Рис. 3. Схемы-изображения:
а – задачи; б – проблемы

Таким образом, графическое изображение «задача» схематизирует метод, переводящий объект управления из текущего в целевое состояние, как ментальную сущность с определенными свойствами.

Проблема (англ. complex problem, ill-structured problem) [15] – 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. Концепт «проблема» по своему содержанию ближе к категориям обусловленности, причины, а термин «задача» – к категориям результативности, следствия, действия. Писатель-фантаст П. Андерсон говорил, что проблема, сколь бы сложной она не была, становится еще сложнее, если на нее правильно посмотреть (цит. по: [16, с. 145]).



Модель «неоднородная задача» (англ. heterogeneous, inhomogeneous, problem) [3] — объект внутреннего мира субъекта, характеризующийся количественной и качественной различимостью состояния субстанции средствами разума, ментальная конструкция–система из неоднородных (обслуживающих) задач, репрезентованная отношениями декомпозиции.

В проблемно-структурной (ПС) методологии ФГиИС [3] проблема (задача, релевантная модели «неоднородная задача») замещается своим субъективным аналогом — представлением проблемной ситуации (декомпозицией) — осмысленной, относительно устойчивой, непосредственно данной решателю мыслительной конструкцией, направляющей и упорядочивающей процесс решения [17]. В такой модели совмещается разнообразие информации о ресурсах, времени, целях, ценностях, убеждениях, эмоциях и т. д.), 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.

Используя базисные символы, ролевые визуальные отношения, сконструируем схему-изображение проблемы (рис. 3, б). Основная идея — представление информации о ментальной, субъективной сущности символом «окружность» — сохранена, но она претерпела изменения: форма окружности заменена на овальную форму, а сплошная линия стала пунктирной. Обе трансформации графической информации символизируют отсутствие у проблемы исходной формулировки, ее нечеткость, неясность, туманность, скрытый от взгляда как управленца, так и разработчика визуального управления характер. Овальная форма ближе к известному из [18] метафорическому образу проблемы — «айсбергу».

Обратим внимание на то, что под схемой-изображением многоцелевого характера проблемы не расположена схема метода ее решения (а на схеме задачи он есть — рис. 3, а). Это символизирует то обстоятельство, что у проблемы нет и не может быть одного-единственного известного метода решения, он должен быть сконструирован из имеющегося в коллективе разработчиков набора инструментальных средств. Это визуально отображает междисциплинарный характер проблемы. Поэтому символ окружности-метода на рисунке 3, б заменен символом действия — стрелкой, схематизирующей коллективные усилия по динамичному, ситуативному конструированию метода решения проблемы. В «ресурсной» части стрелки слева направо есть три изображения: 1) схема-изображение разнообразия информации о задачном составе проблемы — «окружность с тремя разноцветными кругами внутри»; 2) схема-изображение разнообразия информации о структуре проблемы, системе обслуживающих ее задач — «окружность с декомпозицией проблемы»; 3) схема-изображение разнообразия информации о группе



экспертов, участвующих в коллективном решении проблемы, — прямоугольник с пиктограммой группы экспертов, каждый из которых стоит на схеме-задаче из состава проблемы, порученной ему для рассмотрения лицом, принимающим решение. Таким образом, содержание стрелки схематизирует два ментальных образа проблемы: «состав» и «декомпозицию» — и ресурс внешнего мира — «группу экспертов», комплексное строение, сетевой характер, собственную динамику, междисциплинарность, человеческое измерение. Все эти образные представления имеют самое непосредственное отношение к динамичному, ситуативному конструированию метода решения проблемы.

В нижней половине овальной формы расположены схемы-изображения свойств проблемы, в частности схема текущего состояния объекта управления (исходные данные) с пиктограммой визуального управления. Треугольные формы в нижней половине окружности схематизируют слева направо свойства: идентификатор, фазу управления, человеческое измерение, свойства лица, принимающего решения в группе экспертов, свойства среды разработки и эвалюэтер, содержащий оценки результатов выполнения операций по преодолению проблемы и оценок результатов решения экспертами обслуживающих задач.

Таким образом, схема-изображение концепта «проблема» отображает в визуальном управлении разнообразие информации о проблеме, ее специфических свойствах, коллективный характер решателя и его действия по решению проблемы. Кроме этого содержание изображения проблемы может быть интерпретировано и для моделирования систем визуального управления методами ФГиИС с гетерогенным вербально-словесным и визуально-образным модельными полями.

Уровень моделей рассуждений экспертов

Во ФГиИС объекты-прототипы (методы) комбинируются посредством крупно- и мелкозернистой гибридизации [3]. В первой метод — ресурс разработчика для деятельности по решению задачи, обладающий отличительными свойствами. Отношения метода к задачам, свойствам и действиям — фенотип метода [3]. В мелкозернистой гибридизации методы — отношения трех частей: 1) модели, 2) языка ее описания и 3) процедуры (алгоритма) поиска (получения) решений на модели. Модель — концептуальное описание в некоторой теории (например, «система массового обслуживания», «операция», «игра»). Язык описания модели (язык) включает базовые и производные от них изображения и знаки, имеет грамматику. Процедура решений на модели (процедура) — деятельностная, алгоритмическая составляющая, реализующая путь к результату и формирующая разнообразие методов.

Приступая к конструированию схемы-изображения когнитивного образования «метод», рассмотрим формообразование ролевых визуальных отношений «метод — свойство», «метод — действие», «метод — задача», «метод — ресурс» (рис. 4). Все эти отношения можно увидеть на схеме-изображении метода (рис. 5).

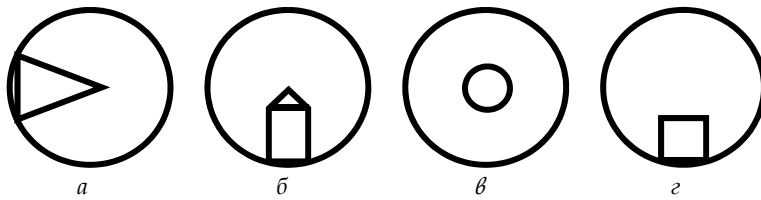


Рис. 4. Ролевые визуальные отношения:
a – «метод – свойство»; *б* – «метод – действие»;
в – «метод – задача»; *г* – «метод – ресурс»



Рис. 5. Схема-изображение метода и символы-пиктограммы для ее конструирования:

a – схема-изображение метода; *б* – символы-пиктограммы, используемые в схеме метода: фенотипической части (слева направо и сверху вниз): модель; погрешность решения; спецификатор; классификатор; гибридные возможности («цыплис» – символ гибридов); преимущества (плюсы); недостатки (минусы); генотипической части (слева направо): язык описания; модель; процедура

Основу целостности фигуры-образа составляет ролевое визуальное отношение «метод – задача» (рис. 4, *в*). Задача схематизирована окружностью с соответствующей пиктограммой «состояние – состояние», аналогичной пиктограмме на рисунке 3, *a* (с. 77). В эту фигуру «врисованы» (интегрированы) пять ролевых визуальных отношений «метод – свойство»: двумя вершинами треугольнички-свойства касаются внешней окружности, а одной – внутренней окружности – символа задачи. Такое количественное взвешивание связи характеризует направление ролевого визуального отношения – «от метода к задаче». Внутри четырех из пяти треугольничков изображены пиктограммы для «раскрытия» смысла схем свойства (рис. 6).

Нижняя, пятая, часть – пятиугольник, образованный сторонами трех треугольников и квадрата. Три треугольника символизируют три свойства метода на уровне фенотипа – гибридные возможности, плюсы и минусы. Квадрат, вписанный в пятиугольник, символизирует внутренний, генотипический ресурс (ролевое визуальное отношение «метод – ресурс» на рисунке 4, *г*) метода. Этот ресурс включает три составляющих его как единого целого: язык описания, модель и процедуру.

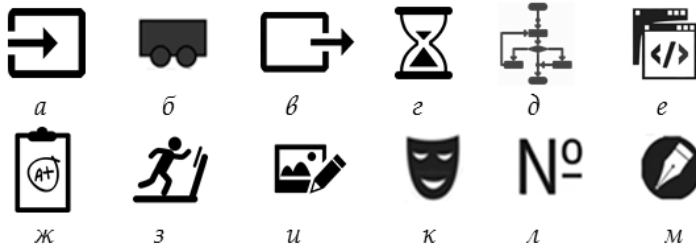


Рис. 6. Пиктограммы для конструирования схем
 визуально-образного представления элемента ФГиИС и ФГиИС:
 а – свойство «вход»; б – свойство «состояние»; в – свойство «выход»; г – свойство
 «величина задержки»; д – ресурс «алгоритм»; е – ресурс «программа»;
 ж – методологический аспект «тестирование»; з – методологический аспект
 «имитация»; и – методологический аспект «конструирование»; к – ролевой аспект:
 «функциональный», «технологический», «координирующий»; л – идентификатор;
 м – класс по описанию: «вербальный», «визуальный»

На схеме-изображении концепта «метод» есть «негативные пространства» [19]. Если их «разглядеть», то можно обнаружить остроконечную пятиконечную звезду, а также символ действия – стрелку (ролевое визуальное отношение «метод – действие» на рисунке 4, б).

Уровень интегрированных моделей рассуждений коллективного интеллекта

Рассмотрим конструирование схем-изображений «элемент ФГиИС», «гетерогенное модельное поле», «интегрированный метод», «интегрированная модель» и «функциональная гибридная интеллектуальная система».

Элемент ФГиИС, моделируя решение обслуживающей задачи или выполняя вспомогательные операции, построен применением некоторого метода и имеет свойства. Пиктограммы для конструирования визуально-образного представления элемента ФГиИС и ФГиИС изображены на рисунке 6, а схема-изображение элемента ФГиИС – на рисунке 7. Центральное положение в ней занимает ролевое визуальное отношение «элемент – действие». Оно отображено комбинацией овала и вписанной в него стрелки, что акцентирует деятельностный подход к представлению частей ФГиИС. Рассмотрим «прямоугольную, ресурсную составляющую» стрелки. Она включает пять ролевых визуальных отношений: «действие – объект», «действие – субъект», «действие – средство», «действие – результат» и «действие – место», последнее из них не специфицировано. Ролевую визуальную позицию «объект» в отношении «действие – объект» занимает схема «задача» (рис. 3, а, с. 77). Следующее слева направо положение занимает ролевое визуальное отношение «действие – субъект», его правую роль исполняет ресурс-разработчик (человеческий фактор, модельер) в качестве инструмента-



средства, владеющий и использующий соответствующий метод (отношение «действие – средство»). Роль результата в ролевом визуальном отношении «действие – результат» исполняет ресурс «программа».

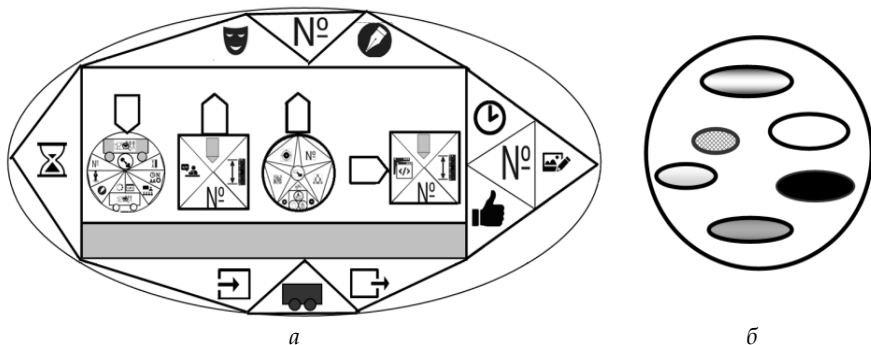


Рис. 7. Схемы-изображения:
а – элемента ФГиИС; б – гетерогенного модельного поля

По периферии прямоугольной формы расположены треугольные формы, схематизирующие свойства элемента ФГиИС (без треугольной части стрелки их семь). Наибольший визуальный вес отдан трем треугольникам, примыкающим к нижней широкой стороне прямоугольника, визуальным связанным и с овалом. Это схемы трех ролевых визуальных отношений «элемент – свойство» (слева направо): «элемент – вход», «элемент – состояние» и «элемент – выход». Остальные треугольные формы позволяют увидеть свойства, смысл которых выражен соответствующими пиктограммами.

Последняя часть визуально-образного представления элемента ФГиИС – «треугольная часть – форма» стрелки. Выражаемое ею содержание ничем не отличается от принятого в метаязыке. Используемая здесь пиктограмма (рис. 6, и) раскрывает методологический аспект действия, указывая на то, что элемент ФГиИС конструируется.

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 – схемы-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.

На рисунке 7, б показана схема-изображение гетерогенного модельного поля. Символ ГМП – окружность, внутри которой овалами разного размера и разной штриховки показаны элементы ФГиИС. Эта модель позволяет увидеть и исследовать ролевое визуальное отношение «иметь в своем составе» и оценить, насколько разнородна информация о проблеме, представленная во ФГиИС.



На рисунке 8 показана трансформация визуально-образной символической информации в ходе конструирования схемы-изображения об интегрированном методе.

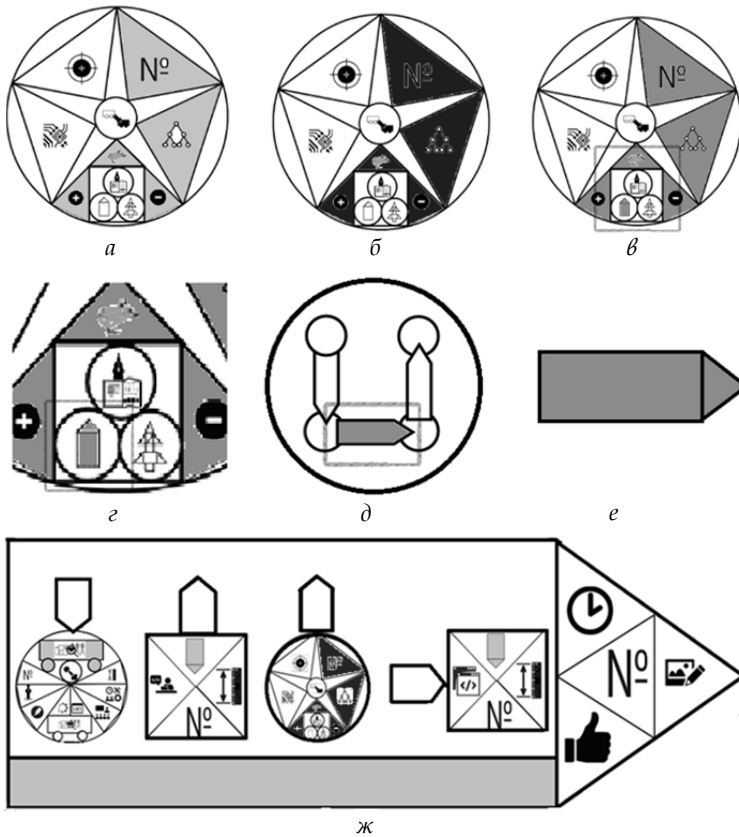


Рис. 8. Трансформация визуально-образной информации в ходе конструирования интегрированного метода:

- a* – родительский метод №1; *б* – родительский метод №2; *в* – интегрированный метод-потомок; *г* – увеличенная генотипическая часть схемы метода-потомка; *д* – увеличенная схема «процедура» метода-потомка с акцентированным изображением последовательности действий (вычислительного процесса); *е* – акцентированная схема модифицируемого действия в процедуре метода-потомка; *ж* – увеличенная схема действия из схемы-изображения «процедура» генотипической части метода-потомка с исправленной правой ролью ролевого визуального отношения «действие – средство»

На рисунке 8, *a, б* представлены схемы двух методов-родителей. Отличия показаны разными цветами пяти треугольных форм. На рисунке 8, *в* дана схема-изображение потомка своих родителей – интегрированного метода. Здесь же выделена область конструирования, к содержанию которой обратится ниже. На рисунке 8, *г* генотипическая часть формы метода-потомка показана увеличенно. На ней выделена форма «процедура», которая в дальнейшем реконструируется. «Процедура» поиска решений на модели – составная часть генотипа метода, на рисунке 8, *д* показана крупно. Увеличенная форма «процедура» метода-

потомка акцентировано отображает последовательность действий (вычислительный процесс). На форме зеленым (серый на рисунке 8, д) цветом выделено изменяемое действие, если качество его выполнения по каким-либо причинам не устраивает разработчика, и он хочет решить технологическую задачу о замене некачественного метода выполнения действия на другой (например, метод-родитель №2). На рисунке 8, е это действие показано отдельно, а на рисунке 8, г дана сконструированная форма действия укрупненно. Это схема действия из формы «процедура» генотипической части метода-потомка с исправленной правой ролью ролевого визуального отношения «действие – средство».

В правой части ролевого визуального отношения «действие – объект» представлена схема «технологическая задача». Субъект действия – разработчик (модельер). Средство действия – метод-родитель №2, что показано аналогичным цветом. Результат действия – программа. Подобное конструирование в методологии ФГиИС названо мелкозернистой гибридизацией.

На рисунке 9 изображены пиктограммы и ролевое визуальное отношение «действие – свойство», примененные для конструирования схемы-изображения «интегрированный метод».

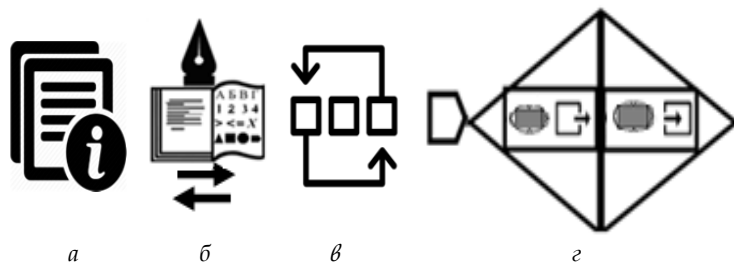


Рис. 9. Пиктограммы и ролевое визуальное отношение «действие – свойство»
схемы-изображения «интегрированная модель»:

- a* – пиктограмма «информация»; *б* – пиктограмма «межмодельный интерфейс»;
- в* – пиктограмма «внутри машинный обмен данными» (коммуникация);
- г* – ролевое визуальное отношение «действие – свойство»

Остановимся на рисунке 9, г, поскольку отношения этого класса использованы и для конструирования визуально-образного представления ФГиИС. Это сложная схема-изображение, состоящая из нескольких визуальных отношений. Прежде всего выделим два ролевых визуальных отношения «свойство – ресурс» (треугольник слева – свойство «выход», а прямоугольная форма внутри треугольника – ресурс «элемент ФГиИС»). Аналогично построено и второе отношение – обозначающее свойство «вход элемента ФГиИС». Сомкнутые основания формы ролевых визуальных отношений «свойство – ресурс» схематизируют установленную связь выхода одного элемента ФГиИС со входом другого элемента ФГиИС. Отношение «действие – свойство» обозначает выполнение некоторого действия, например обмена информацией между элементами ФГиИС после того, как связь установлена.



На рисунке 10 показана трансформация схематизированных изображений при конструировании визуально-образного представления интегрированной модели.

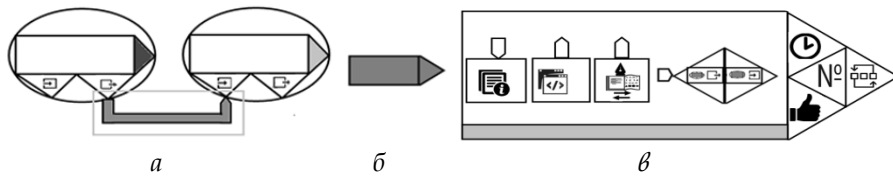


Рис. 10. Трансформация информации при конструировании визуально-образного представления интегрированной модели: упрощенное изображение двух различных схем-изображений «элемент ФГиИС» и связывающая их форма-стрелка «действие»

85

На рисунке 10, *a* представлены упрощенные схемы двух различных (что акцентировано разными цветами треугольной части «свойства» действия) элементов ФГиИС. Между схемами-изображениями элементов установлено ролевое визуальное отношение – действие обмена информацией. Точнее – отношение связывает треугольную форму свойства «выход» левого элемента (начало стрелки) и треугольную форму свойства «вход» правого элемента, которой касается конец стрелки. Здесь же серым прямоугольником акцент исследования смещается на коммуникационное действие-стрелку (рис. 10, *б*).

На рисунке 10, *б* действие-стрелка дано увеличенно, что детально показывает, как конструировать это действие и исследовать его проблематику. Прямоугольная форма – часть действия – включает пять ролевых визуальных отношений (отношение «действие – место» не специфицировано). Слева направо первое отношение «действие – объект» визуализирует высказывание «информация – объект внутримашинного обмена данными». Следующие два ролевых визуальных отношения – «действие – средство». Показано средство-ресурс «программа межмодельного интерфейса». Последнее ролевое визуальное отношение рассмотрено выше и позволяет дифференцированно конструировать и исследовать связи элементов ФГиИС. Такое конструирование в методологии ФГиИС названо крупнозернистой гибридизацией.

На рисунке 11 изображены пиктограммы, использованные при конструировании схемы ФГиИС визуального управления.



Рис. 11. Пиктограммы-фрагменты схемы ФГиИС визуального управления, обозначающие:
a – пользователя ФГиИС (преодоление проблемы-барьера); *б* – методологический аспект «имитация»; *в* – методологический аспект «конструирование»; *г* – коллектив экспертов под руководством лица, принимающего решения, чья деятельность моделируется ФГиИС; *д* – символ ФГиИС – «цыплис»

Схемы-изображения – фрагменты визуально-образного представления ФГиИС – показаны укрупненно на рисунке 12. На рисунке 12, *а* показана схема-изображение «архитектура ФГиИС», играющая ключевую роль в конструировании ФГиИС визуального управления. Она представляет систему элементов ФГиИС, выбранных из ГМП и связанных визуальными отношениями. Насколько эта система окажется релевантной декомпозиции проблемы (рис. 3, *б*), настолько качественным будет и решение проблемы. Смысл еще трех фрагментов был раскрыт по ходу рассмотрения схемы «интегрированная модель» (рис. 10).

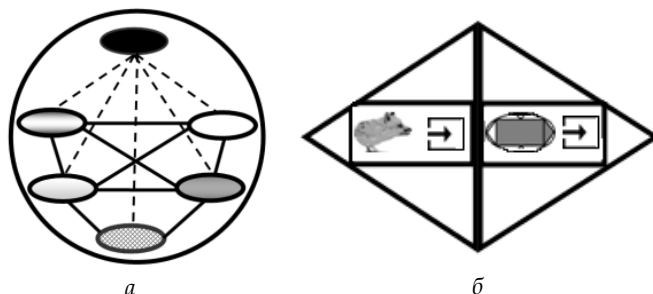


Рис. 12. Схемы-изображения – фрагменты визуально-образного представления ФГиИС, изображенные укрупненно:

а – схема-изображение «архитектура ФГиИС»; *б* – ролевое визуальное отношение «свойство – свойство»: «вход ФГиИС – вход элемента ФГиИС»; *в* – «состояние ФГиИС – состояние элемента ФГиИС», «выход ФГиИС – выход элемента ФГиИС»

На рисунке 13, *а* показана сложная схема-изображение ФГиИС визуального управления. Для раскрытия семантики концепта «ФГиИС» использован деятельностный подход, аналогичный формообразованию элемента ФГиИС. По периферии прямоугольной формы расположены треугольные формы свойств ФГиИС (без треугольной части стрелки их пять). Наибольший визуальный вес имеют три треугольника, примыкающие к нижней широкой стороне прямоугольника и визуально связанные также и с овалом. Они схематизируют три ролевых визуальных отношения «агрегат – свойство» (слева направо): «агрегат – вход», «агрегат – состояние» и «агрегат – выход». Остальные треугольные формы позволяют увидеть свойства, смысл которых выражен соответствующими пиктограммами.

Последняя часть схемы-изображения ФГиИС – «треугольная часть-форма» стрелки. Выражаемое ею содержание ничем не отличается от стандартного для действия. Используемая здесь пиктограмма (рис. 11, *б*) раскрывает методологический аспект действия, указывая на то, что ФГиИС конструируется.

На рисунке 13, *б* схематизацией раскрыт методологический аспект ФГиИС «имитация», в ходе которой ФГиИС преобразует свойство «вход» в свойство «выход», что отображено соответствующими ролевыми визуальными отношениями.

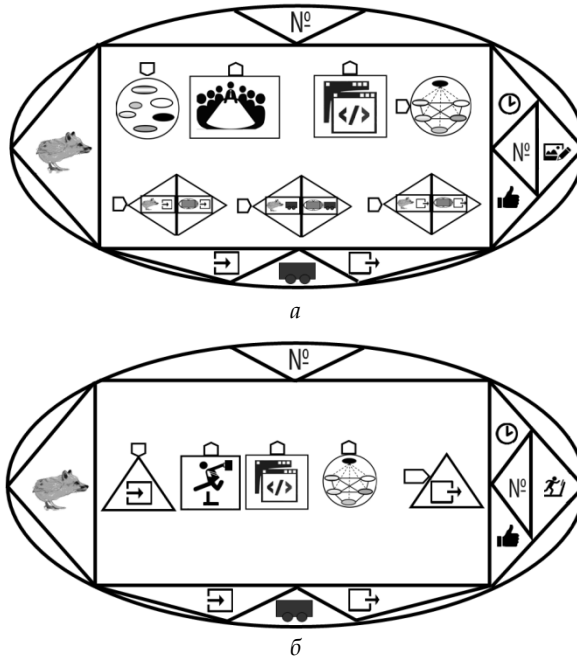


Рис. 13. Схема-изображение функциональной гибридной интеллектуальной системы:

- а* – методологический аспект «конструирование»;
- б* – методологический аспект «имитация»

Заключение

Рассмотрены основные элементы трех уровней визуального метаязыка, разработанного для гибридных интеллектуальных систем управления электросетями: 1) уровня задач и проблем; 2) уровня моделей рассуждений экспертов; 3) уровня интегрированных моделей рассуждений коллективного интеллекта. Схематизация объектов-прототипов выражает общее, абстрактное, недоступное созерцанию, помогает видеть целостное в явлениях, оформляет зарождающиеся идеи, придает абстрактному чувственную форму, дает инструмент видения идей своих создателей.

Схематизация объектов-результатов делает ясными, прозрачными и понятными идеи Калининградской школы о ФГиИС – схеме переработки информации о проблемных ситуациях в разрешающие рекомендации. Открывается возможность параллельной реализации гибридных стратегий за счет мгновенного, скачкообразного возбуждения совокупности концептов многоуровневого информационного языка гетерогенного модельного поля по актуализации в многоуровневом визуальном языке образа сложившейся, оперативной ситуации.

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



Список литературы

1. Венда В. Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М., 1990.
2. Гарднер Г. Структура разума: теория множественного интеллекта. М., 2007.
3. Колесников А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / под ред. А. М. Яшина. СПб., 2001.
4. Колесников А. В., Кириков И. А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М., 2007.
5. Колесников А. В. и др. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / под ред. А. В. Колесникова. М., 2011.
6. Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В. Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М., 2014.
7. Колесников А. В. и др. Неформальная аксиоматическая теория ролевых визуальных моделей // Информатика и ее применения. 2016. Т. 10, вып. 4. С. 114–120.
8. Колесников А. В., Листопад С. В., Майтаков Ф. Г. Метаязык для гибридных интеллектуальных систем визуального управления электрическими сетями: ресурсы, свойства и действия // Системы и средства информатики. 2018. Т. 12, вып. 3 (в печати).
9. Колесников А. В., Листопад С. В., Майтаков Ф. Г. Метаязык для гибридных интеллектуальных систем визуального управления электрическими сетями: иерархии, структуры, ситуации и состояния // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2018. № 2. С. 45–58.
10. Bowman W. J. Graphic communication. N. Y., 1968.
11. Sibbet D. Visual Leaders: New Tools for Visioning, Management, and Organization Change. Hoboken, New Jersey, 2013.
12. Fitriani S., Rothkrantz L. J. M. Two-Dimensional Visual Language Grammar. URL: [http://mmi.tudelft.nl/pub/siska/TSD%202DVisLang Grammar.pdf](http://mmi.tudelft.nl/pub/siska/TSD%202DVisLang%20Grammar.pdf) (дата обращения: 15.07.2018).
13. Kremer R. Visual Languages for Knowledge Representation. URL: <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW98/kremer> (дата обращения: 15.07.2018).
14. Колесников А. В. Функциональные гибридные интеллектуальные системы визуального управления // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. IV Всерос. Пospelовской конференции с международным участием. Калининград, 2018. С. 18–81.
15. Спиридонов В. Ф. Психология мышления: Решение задач и проблем : учеб. пособие. М., 2006.
16. Мыльник В. В., Титаренко Б. П., Волочиенко В. А. Исследование систем управления : учеб. пособие. М., 2003.
17. Пушкин В. Н. Оперативное мышление в больших системах. М., 1965.
18. Самсонова М. В., Ефимов В. В. Технология и методы коллективного решения проблем : учеб. пособие. Ульяновск, 2003.
19. Эдвардс Б. Ты — художник! Минск, 2010.



Об авторах

Александр Васильевич Колесников — д-р техн. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта; ст. науч. сотр., Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН, Россия.

E-mail: avkolesnikov@yandex.ru

Сергей Викторович Листопад — канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН, Россия.

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

Федор Георгиевич Майтаков — асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: maitakov@mail.ru

The authors

Prof. Alexander V. Kolesnikov, I. Kant Baltic Federal University; Senior Researcher, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center «Computer Science and Control» of the Russian Academy of Sciences, Russia.

E-mail: avkolesnikov@yandex.ru

Dr Sergey V. Listopad, Senior Research Fellow, 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

Fedor G. Maitakov, PhD Student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: maitakov@mail.ru