

УДК 681.5:007

МЕТОДЫ ИНТЕГРАЦИИ АПРИОРНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Г. Н. ЗВЕРЕВ

Факультет информатики и робототехники УГАТУ
Тел: (3472) 23 32 00 E-mail: ugatu_psi@mail.ru

Проблема интеграции фактических и теоретических знаний предметных областей изучается с позиций формализации информационной семантики, представленной четырьмя базисами понятий системологии, семиотики, сенсорики, рефорики, используя деление объектов на материальные и знаковые, и процессов — на материальные, сенсорные, рефорные и эффекторные. Для их унифицированного описания вводятся параметрические пространства стандартизованных информационных моделей, на которых определяются модели неопределенностей и схема косвенного обращения. Формализованную информационную семантику представляет интегрированная семиомодель, объединяющая семиотическую, структурную и ролевую модели объекта или процесса предметики

Теоретическая информатика; семиотика; формальная семантика; системология; знание; искусственный интеллект; обратная задача

Вторая половина ушедшего века характеризовалась становлением и развитием кибернетики, теории и практики информационных систем и технологий, призванных решить глобальную научно-техническую проблему автоматизации человеческой деятельности, эффективной замены людей аналоговыми и цифровыми устройствами, роботами, универсальными вычислительными машинами и средствами взаимосвязи их с внешней средой. Для успешного решения проблемы замены интеллекта человека автоматом необходимо воспроизвести в формализованном виде знания специалистов предметных областей о прошлых и ожидаемых реальных ситуациях, о целях и критериях деятельности, представить в текстовой, графической, числовой форме мысли и действия людей, ставящих и решающих задачи достижения поставленных целей и желаемых состояний информационно-материальной реальности.

До эпохи информатики-кибернетики эти проблемы формализации частично решали теории предметных областей, используя язык и аппарат логики и математики для построения идеализированных математических мо-

делей, к которым применимы аналитические методы и упрощенные алгоритмы, не учитывающие, как правило, хорошо известные специалистам-предметникам реалии получения фактических, экспериментальных, априорных теоретических данных либо ожидаемые условия работы создаваемых и используемых систем и технологий. Появление универсальных вычислителей-решателей открыло возможности более реалистического описания информационных ситуаций, повышения адекватности результатов за счет дополнительного учета разнообразия и особенностей анализируемых и синтезируемых объектов и процессов, однако зачастую значительная доля смысловой информации о человеческой деятельности до сих пор остается вне теоретических формализмов, алгоритмов, программ, баз данных, баз знаний и умений. Поэтому результаты машинных расчетов, математического моделирования, автоматической классификации, идентификации, распознавания объектов, процессов, ситуаций и принятые автоматом решения подвергаются на практике «ручному» (визуальному, мысленному) анализу, интерпретации, корректиров-

ке, выполняемой людьми с учетом априорной и смысловой информации, которой не обладает вычислительная система.

Повышения качества машинных решений и информационных технологий в целом можно ожидать, во-первых, от совершенствования теорий предметик и их моделей, во-вторых, от более полного и эффективного использования априорных данных, которыми владеют специалисты, принимающие решения, в-третьих, от более углубленной формализации решаемых задач — предметной и информационной семантики процесса решения. Первое из трех перечисленных перспективных направлений совершенствования информационных систем и технологий относится к ведению соответствующих предметных областей, второе и третье составляют фундаментальную проблему теоретической информатики, математики, логики. Данная статья посвящена изложению некоторых результатов [1], продвигающих разрешение данной проблемы, имеющей тесную связь с созданием теории и программно-аппаратных средств искусственного интеллекта. Далее мы рассмотрим расширенную формализацию априорной семантики информационных ситуаций.

Любая информационная деятельность, которую мы пытаемся автоматизировать, направлена на получение новых знаний и снятие, а точнее сказать, уменьшение неопределенности целевых, искомых объектов информационной или математической задачи: неопределенности параметров, структур, функциональных и реляционных объектов. Используемое здесь понятие «знание» является более общим, семантически более емким, чем понятие «данные», «информация». К знаниям мы относим не только какие-либо сведения, составляющие результирующую прагму информационного (знакового) процесса получения знаний и выраженные в терминосистеме, включающей понятия предметики и межпредметные термины, но и необходимый контекст знаний, содержащий парадигму терминосистемы и языковой среды, ее синтаксис, конструктивно-процедурную и дескриптивно-декларативную семантику, характеристику источников и возможных «приемников» — потребителей знаний [1].

Наиболее важной характеристикой знания является мера адекватности знания действительному состоянию информационно-материальной реальности, скажем, мера погрешности $\Delta = \hat{x} - x$ результата измерения или вычисления \hat{x} истинного значения коли-

чественного параметра x какого-либо объекта или процесса, но в силу фундаментального закона информатики всякое знание и составляющие его информационные объекты не могут претендовать на абсолютную точность и достоверность, поэтому формализованное знание о значении параметра x записывается в простейшем случае в виде пары информационных объектов $(\hat{x}, \hat{\Delta})$, где $\hat{\Delta} = \Delta + \Delta\Delta$, а второе слагаемое $\Delta\Delta$ есть погрешность погрешности, оценка которой также может искажаться. В более сложных случаях оценка истинности знания заменяется адеквативной или вариативной моделью его неопределенности, скажем, информационный объект \hat{x} является неизменным в памяти машины, а свойство x природного объекта варьируется в соответствии с алгоритмической Γ_x , траекторной T_x , частотной $q(x)$, аналитической Q_x моделями неопределенности математической переменной x [1, 2].

Отсутствие в формализованном знании оценки его адекватности, модели вариативности $(\Gamma_x, \Gamma_{\Delta}, \dots)$, строго говоря, ведет к незнанию, полужнанию, неопределенности основного знания, для научного знания характеристика адекватности или вариативности является необходимым компонентом знания, а при упрощенном подходе ее заменяют ссылкой на свойства источника информации и описанием контекста ее получения.

Помимо контекста источника знания, в семантику понятия знания включают контекст приемника знания, определяющий его ценность и информативность в новой языковой среде. Выделяют два крайних случая этого контекста: в первом семантика всех понятий, в которых описано знание, идентична для источника и приемника, во втором семантическая сеть приемной информационной системы отличается от сети источника или недоопределена настолько, что поступившее знание не может быть правильно понято и либо отвергается, либо несет ложное, искаженное знание.

Первый случай контекста является основным при моделировании и интеграции знаний естественно-научных и технических систем, предполагая отсутствие противоречий, смысловых ошибок и полную воспроизводимость семантики в знаковом процессе приемника. В гуманитарных науках, при моделировании политических, социально-экономических, организационных систем, при описании процессов юриспруденции, обучения, культурологии, рефлексивных игр,

когда нельзя пренебречь семантическими шумами, возникает весь спектр возможных контекстов приемников знаний от первого до второго крайних случаев.

В подобных информационных ситуациях возникает необходимость введения в модели семиотических переменных, которые в отличие от классических математических (синтаксических) переменных имеют изменяемую семантику, формализованную в семиотическом базисе ПИКАД, где Π — метазнак, любое понятие предметики, представленное четырехслойной структурой, как знак в широком смысле; I — имя, это знак в узком смысле, материализованное обозначение, идентификатор понятия Π в знаковом (информационном) процессе; КАД — обозначаемое, значение (смысл) метазнака или понятия, состоящее из трех разных смыслов; D — дент знака, прямое значение понятия, на которое указывает имя; K — конт знака, косвенное значение понятия, его образ в виде модели, знаковой структуры в памяти человека или информационной системы; A — составной динамический адрес всех компонентов метазнака: $A=(r, t, \alpha, \tau)$; r — пространственные координаты физической адресации дента, конта, имени или адреса; t — физическое время адресации; α — информационные координаты компонентов понятия; τ — информационное, модельное время. Математическая переменная выражает изменчивость дента — прямого значения, семиотическая переменная определяет возможные вариации всех компонентов метазнака [1].

Исследование методов интеграции знаний начнем с математических переменных, которые в ролевом системологическом базисе информатики описывают свойства и состояния материально-информационных объектов и процессов в виде статусных s -объектов, преобразования реальности — в виде функциональных f -объектов, актуальные связи между объектами — в виде реляционных r -объектов. Статусные переменные выражают количественные и качественные (нечисловые) характеристики, функциональные переменные определяют классы преобразователей и накопителей материи и информации, реляционные переменные выражают виды связей между объектами реальности. Если же объекты выполняют сложные роли в системе и при моделировании, то их представляют модельными fsr -объектами [1].

При отсутствии семантических помех и точно известной структуре информационно-материальной реальности всякое знание

(умение) можно представить в ролевом базисе однозначно заданным fsr -объектом с оценкой его адекватности, погрешности (Δf , Δs , Δr) либо размытым fsr -объектом с алгоритмической Γ_{fsr} , частотной $q(f, s, r)$, и т. п. моделью неопределенности или вариативности. Такое представление в принципе учитывает также неадекватность исходных понятий, используемых при описании реальности и построении упрощенных моделей. Так, понятие «Земной шар», определяемое положением его центра и радиусом, не учитывает сплюснутости Земли у полюсов, а понятие «Земля — эллипсоид», в котором вместо скаляра — радиуса используется тензор — квадратная матрица третьего порядка размеров и углов пространственной ориентации — это более сложное понятие, как и шаровая модель, не учитывает неровности поверхности Земли.

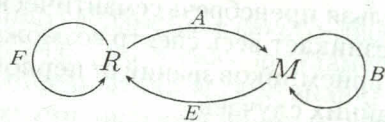
В информационных задачах исследования существующей реальности, проектирования новой реальности, планирования действий по ее достижению, в задачах управления реализацией проектов и планов достижения целевых состояний используемые знания подразделяют на фактические, экспериментальные, теоретические данные (числовые и нечисловые s -объекты) и теоретико-экспериментальные модели (fr -объекты в виде функций, алгоритмов, уравнений, неравенств, распределений и т. п.), на априорные, доопытные и апостериорные, знания, полученные после наблюдений, испытаний, обработки экспериментов, данных эксплуатации, и в результате получают уточненные апостериорные модели и данные, меры их адекватности, модели остаточной неопределенности. Последний вид знаний, в отличие от основных знаний, называется метазнанием, информацией об информации, куда включают не только характеристики качества знаний, их полноты, достоверности, но и метаправила, иерархические модели неопределенностей, абстракций, обобщений и др. [1].

Фактические, априорные, апостериорные знания, данные и модели подвержены в той или иной мере искажениям, неполны, противоречивы, размыты, «ручные» и машинные их преобразования также привносят дополнительные ошибки, а в некоторых случаях используемые математические методы решения, не учитывающие этих искажений и неполноту исходных данных и моделей, вообще не позволяют получить удовлетворительных решений, в частности, для так называемых некорректных задач. В работе [1] в подобных ситуациях предложено в алгорит-

мах решений реальных информационных задач исследования, проектирования, управления учесть известные искажения и неопределенности, привлечь дополнительную априорную информацию, которой владеют специалисты, использовать ее не на этапе контроля, интерпретации и коррекции машинных результатов, а непосредственно в алгоритме решения путем разумного сочетания — интеграции формализованных фактических и априорных знаний.

Для выполнения этой программы строится расширенная модель информационного процесса, описывающая особенности механизма получения фактических и априорных знаний, оценки их адекватности, построения моделей неопределенности и реальной информированности специалиста-исследователя, проектировщика, управляющего о существующих и ожидаемых информационных ситуациях, оценки последствий получаемых и используемых решений. Разработка подобного класса расширенных информационных моделей для каждой предметной области и каждого класса решаемых задач является довольно сложным делом. Существенно упрощает положение создание обобщенных информационных моделей, не зависящих от предметики и класса решаемых задач, и унификация информационной семантики, и именно так создавались универсальные абстрактные понятия и методы математики и логики.

Построение обобщенных информационных моделей и унификацию их семантики начнем с разделения всех мыслимых объектов и процессов на *материальные*, относящиеся к физической реальности $Real=R$, и *знаковые*, информационные, относящиеся к модельному миру $Model = M$ внутри информационной системы, в мышлении, в среде естественного (национального) языка и речи. Знаки модельного мира тоже имеют материальную реализацию в виде имен И. Но она несущественна, а главное — это смысл КАД, на который ссылается информационный объект И, т. е. информацию, которую несет знак И — обозначение, сигнал, текст и т. п. в информационном процессе как подходящая модель информационно-материальной действительности. При создании ее адекватных моделей необходимо описать взаимосвязи между материальным и модельным мирами. В функциональной форме задания этих связей выделяют четыре типа процессов и соответствующих им преобразователей — процессоров, взаимодействующих в соответствии с граф-схемой:



Материальный процесс $F : R \rightarrow R'$ есть преобразование физической реальности R в новую реальность R' , выполняемое управляемым функциональным объектом — *материальным процессором* F , либо преобразование F происходит в естественном процессе взаимодействия физических тел. *Сенсорный процесс* $A : R \rightarrow M$ есть преобразование свойств и связей реальности R в знаки — результаты наблюдений, измерений, информационных объектов модельного мира M , существующего внутри информационной системы. Это преобразование выполняет материально-информационный процессор — *сенсор* A . *Рефорный процесс* $B : M \rightarrow M'$ преобразует, реформирует знаки модельного мира M в новые знаки, новые знания — результаты обработки наблюдений, вычислений, рассуждений, решений, составляющих новый информационный мир M' . *Рефорный процесс* реализует информационный знаковый процессор — *рефор* B , входящий в состав информационной системы, скажем, компьютер или человек. *Эффекторный процесс* $E : M \rightarrow R$ преобразует информационные объекты мира знаков M в физические воздействия, новые предметы, изделия, относимые к изменяемой физической реальности. Эффекторный процесс выполняется информационно-материальным процессором — *эффектором* E непосредственно либо с привлечением материального процессора F , т. е. на входе эффектор, скажем, станок с числовым программным управлением, имеет информационные объекты — знаки и материальные объекты — заготовки, а на выходе — измененные материальные объекты — детали будущего изделия.

Линейные последовательности ABE , $ABEF$ операторов сенсорного, рефорного, эффекторного, материального процесса выражают простейшие модели человеческой деятельности: исследования (наблюдения, обработка измерений), проектирования, управления решениями, материального производства. Последующая детализация и повышение адекватности моделей связаны с учетом цикличности, необходимого контроля искажений, введением различия фактических и априорных данных, их истинных и реально полученных значений, формализацией целей и критериев успешности этапов деятельности, источников и приемников фактической и

априорной информации. Измерительная система — сенсор A , вычислительная и управляющая система — рефор B , исполнительная система — эффектор E вместе с материальным процессором F разбивается на подсистемы, между которыми устанавливаются прямые и обратные связи. Всякая информационная задача в этих системах и ее алгоритм оперируют моделями $ABEF$ и данными, экспериментальными, полученными сенсором, и априорными, полученными рефором и сенсором в предшествующие циклы деятельности. Общая дескриптивная форма представления информационной задачи выглядит так:

{Данные, Условия} → Цели,

где исходные данные содержат факты и априорику задачи, условия выражают критерии успешности, ограничения, которые часто включают в априорную информацию, а цели есть искомые целевые информационные *fsr*-объекты. Эта дескриптивно-декларативная форма задачи преобразуется в конструктивно-процедурную форму

Алгоритм: Данные → Цели

путем выбора и построения алгоритма достижения цели по известным данным и формализованным условиям. При поиске перехода от известных к неизвестным и создании алгоритма, а также в процессе решения и даже ранее в процессе формализации информационной ситуации и постановки проблемы производится декомпозиция цели на подцели, задачи на подзадачи, каждая из которых, как и основная задача, порождает метазадачи иерархического поиска данных и условий.

Унификация информационной семантики основной задачи, подзадач и метазадач выполняется с учетом декомпозиции операторов A, B, E, F , их возможных входных и выходных объектов, а также процессов взаимосвязей между ними. С этой целью вводят параметрические пространства s -объектов, описывающие входные и выходные состояния стандартизованных и унифицированных информационных моделей человеческой деятельности:

U — пространство причин, известных и латентных факторов, влияющих на входы и внутренние состояния $ABEF$, составляющих вектор причин $(u_1, u_2, \dots, u_k) = u \in Q_u$ — область фактических вариаций причин, $Q_u \subseteq U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_k, u_i \in U_i$;

Y — пространство наблюдений, содержащее теоретически возможные результаты измерений, значения наблюдательных количественных и качественных признаков, пространственно-временных сигналов на выходе сенсора A : $(y_1, y_2, \dots, y_m) = y \in Q_y$ — фактически доступная область наблюдений, $Q_y \subseteq Y = Y_1 \times \dots \times Y_m$;

X — пространство искомых целевых свойств $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in Q_x$ — область поиска целевых объектов, $Q_x \subseteq X_1 \times \dots \times X_n$;

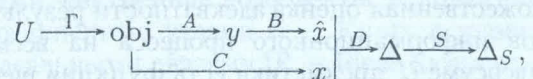
\hat{X} — пространство решений на выходе рефора B : $\hat{x} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n) \in Q_{\hat{x}}$ — область решений, (в обычных формализациях $\hat{n} = n, \hat{X} = X, Q_{\hat{x}} \neq Q_x$);

H — пространство характеристик, информационно-материальных показателей качества процессов решения, исследования, проектирования, управления, производства, $h = (h_1, h_2, \dots, h_r) \in Q_h$ — область допустимых значений свойств и характеристик решений, $Q_h \subseteq H = H_1 \times \dots \times H_r$; $h_0 = (h_{01}, \dots, h_{0r})$ — (нереализуемый) идеал, характеристики идеального решения;

Λ — критериальное пространство мер $\lambda(h, h_0)$ качества и последствий принятых решений, $(\lambda_1, \dots, \lambda_p) = \lambda \in Q_\lambda$ — область допустимых значений информационных и ценностных критериев $Q_\lambda \subseteq \Lambda = \Lambda_1 \times \Lambda_2 \times \dots \times \Lambda_p$;

Z — пространство управлений, управляющих воздействий на выходе рефора и эффектора на материальную R и информационную M реальность: $Z = (z_1, z_2, \dots, z_s) \in Q_z$ — область допустимых управлений, $Q_z \subseteq Z = Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_s$.

Данные, условия, цели, алгоритм решения информационной задачи представляются *fsr*-объектами, определенными в пространствах U, X, Y, Z, \hat{X} и охарактеризованными s -объектами из пространства H, Λ . Как показано в [1], любую информационную задачу с неопределенными или искаженными данными, условиями, целями можно представить обратной задачей, а процесс решения — обращенным моделированием от целевых состояний к средствам достижения, от следствий, исходных данных к причинам. Эффективным подходом к решению обратных задач и интеграции размытых фактических и априорных знаний является построение схемы косвенного обращения информационной задачи



в которой U — универсум информационно-материальных ситуаций, в параметрическом представлении — это пространство причин, определяющее набор всех существенно влияющих факторов, свойств изучаемого объекта obj , окружающей среды, формализованных в виде информационных s -объектов; Γ — генор, модель генерации проблемных ситуаций и конкретных значений вектора причин $u \in U$, $y = A(u)$ — результат сенсорного процесса из пространства наблюдений Y на выходе модели сенсора $A(u)$, $\hat{x} = B(y)$ — результат рефорного процесса решения обратной задачи на выходе рефора B из пространства решений \hat{X} , $x = C'(obj) = C(u)$ — истинное (действительное) значение целевого свойства объекта из пространства искомого X , полученное на выходе целевого оператора C — аккуратора, идеальной или прецизионной системы, точность которой заведомо выше реального источника информации, $AB \neq C$. Сравнение истины x и ее фактической оценки \hat{x} выполняет адеквататор D и выдает оценку адекватности ∇ или ошибочности, погрешности $\Delta = \nabla^{-1}$ решения \hat{x} . Подобное сравнение циклически повторяется для каждой ситуации, порожденной генором Γ , а индивидуальные оценки ошибок накапливаются в операторе связи S , и по завершении исследования универсума U объектов предметной области на выходе S выдается сводная (средняя, типичная, ожидаемая) оценка недостоверности Δ_S результата работы сенсора-рефора AB в заданном классе ситуаций исследования, проектирования, управления: $\Delta_S = S(\{\Delta\})$.

Базисными информационными характеристиками и критериями качества являются точность, оперативность, компактность информационного процесса. Эти критерии при более широком подходе к формализации реальных ситуаций дополняются ценностными характеристиками и критериями, учитывающими затраты, ожидаемые последствия правильных и ошибочных решений в шкалах платежей, рисков, абстрактной полезности. В этом случае оператор D называется аксиор, на его выходе получают критериальные оценки $\lambda = D(\hat{x}, x)$ и затем сводные оценки $\lambda_s = S(\{\Delta\})$ полезности либо потерь информационно-материальной деятельности [2].

Индивидуальная оценка адекватности (либо ценности) в единичной ситуации является функцией пяти аргументов: $\Delta(A, B, C, D, u)$. Множественная оценка адекватности результатов информационного процесса на всем универсуме U предметики есть функция шести аргументов $\Delta_S(A, B, C, D, \Gamma, S)$. Исполь-

зуя эту функцию при анализе-синтезе моделей и их реализации, можно оптимизировать алгоритмы решения информационных задач: обработки информации $\min_B \Delta_S(B)$ при неизменной априорике $J = (A, C, D, E, F, \Gamma, S)$, технологии исследования, проектирования, управления $\min_{A,B} \Delta_S(A, B)$, найти наилучшие

условия применения существующей технологии $\min_{\Gamma} \Delta_S(\Gamma)$ и т. д. Эти выражения ведут к эффективным алгоритмам и технологиям, когда удается получить аналитические решения задачи вычисления многомерных интегралов в пространстве причин U от функции Δ и аналитические решения задачи многомерной минимизации: $\min \Delta_S = \max \nabla_S$ [1].

Если пространство наблюдений Y есть проекция пространства причин U , то сенсорный процесс A называют прямым наблюдением исследуемого объекта, результаты которого в той или иной степени искажены помехами наблюдений v , скажем, $y_i = u_i + v_i$, иначе A есть косвенные наблюдения. Если пространство искомого X есть проекция пространства причин U , то рефорный процесс B есть прямое обращение сенсорного процесса A , восстанавливающего целевые (искомые) причины x по наблюдаемым свойствам y в соответствии с априори заданным критерием обращения, в противном случае рефорный процесс осуществляет косвенное обращение, восстанавливая целевые свойства x по наблюдениям y , очищенные от неинформативных особенностей, несущественных деталей ситуации целевым оператором C .

При классическом обращении $A^{-1} \approx B$ критерием решения служит соответствие теории и эксперимента — равенство $y = y_T = A(\hat{x})$, при точностном обращении рефор B находится из условия максимальной точности решения: $\min \Delta_S$. В информационных задачах помимо адекватности результата важно учесть временную сложность решения, скажем, максимальную скорость или минимальное время решения $\min T$ при удовлетворительной точности $\Delta_S \leq \Delta_r$ — граница ошибки либо $\min \Delta_S$ при $T \leq T_r$ — допустимая временная граница решения.

Такое обобщенное обращение реализуется методом наилучшей точности МНТ. В более общей постановке используются ценностные критерии минимальных рисков, ожидаемых платежей метода наилучшей ценности МНЦ $\min_{A,B} \lambda$ при заданных ограничениях на информационно-материальные ресурсы.

Дескриптивная априорика информационной задачи $J = (A, B, C, D, E, F, G, S)$, как и экспериментальные данные, подвержена разного рода искажениям и может быть неполной и противоречивой. Если реальное состояние информированности специалиста-предметника описать метаинформацией — моделью неопределенности априорики, аналитической — множеством Q_J , частотной — распределением $q(J)$ или моделью источника априорики — генером G_J , то удастся учесть в алгоритмах сенсорного, реформного, эффекторного процессов связанные с этой неопределенностью потери информативности и уменьшить ее влияние [1].

Приложение изложенной выше методологии к решению традиционных задач вычислительной математики с неопределенными входными экспериментальными и априорными данными, дискретно-логических задач классификации, распознавания, принятия решений, оперирующих искаженными качественными признаками, позволило получить эффективные алгоритмы решения линейных и нелинейных уравнений, задач аппроксимации, интерполяции, экстраполяции, картирования, прямой и обратной многомерной фильтрации сигналов, численно-дифференцирования-интегрирования, оптимального и субоптимального обращения дискретно-логических моделей. Так, если к исходным данным $\{y, A\}$ классической задачи вычислительной математики решения системы линейных уравнений $Ax = y$ добавить априорику о возможных неопределенностях искомого x , искажениях правой части системы уравнений y , вариациях элементов a_{ij} матрицы системы $A = \{a_{ij}\}$ размерами $m \times n$, то в линейном приближении получают быстрые алгоритмы наивысшей точности с оценкой погрешности $\Delta = \hat{x} - x$ при любом соотношении между числом уравнений m , числом неизвестных n и рангом rg размытой (случайной) матрицы a произвольного ранга $rg \geq 0$, вариации элементов которой произвольным образом зависимы между собой и взаимосвязаны с вариациями искомого x и измерения y [1].

Применение формализма схемы косвенного обращения к анализу точности логических аппроксимаций функциями с искаженными логическими переменными позволило построить неклассические логики с информационной семантикой, которые обобщают классическую логику и имеют, как и последняя, внутренние средства оценки истинно-

сти и неопределенности логического вывода [1, 3–5].

Еще одно перспективное направление согласования и интеграции знаний различных предметных областей связано с унификацией их конкретной и абстрактной семантики в предельно общих базисах теоретической информатики: семиотическом, структурном, ролевом, проблемологическом (процессорном) базисах. Решение проблемы унификации формализованных смыслов теорий предметных областей, по всей видимости, позволит в перспективе создать единый объективный информационный язык для людей и машин, продвинуться в разрешении проблемы глобальной автоматизации на основе единой метатехнологии и программно-аппаратных средств искусственного интеллекта. Интерес к проблеме формализации абстрактной информационной семантики как средству унификации терминосистем и моделей предметных областей никогда не затихал, а в последние годы возрос в связи с разработкой интегрированных метатехнологий, CASE-средств, унифицированных языков моделирования [6], CALS-технологий непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделия или услуги [7].

Формализованная информационная семантика, выраженная в абстрактных базисах информатики, позволяет строить пополняемые информационные модели любой предметной области, скажем, математики, логики, информатики, физики, техники [1], и прежде, семиотические модели, состоящие из семиомоделей объектов и процессов предметики. Семиотический базис ПИКАД, рассмотренный выше, есть средство формализации понятий и в целом терминосистемы предметики. Системологический базис информатики позволяет построить функциональные и структурно-параметрические модели информационно-материальных систем и технологий. Он состоит из ролевого *fsr*-базиса, включающего функциональные, статусные и реляционные модели, и структурного базиса РОСКИРТ, который описывает иерархическую морфологию систем в форме сети полюсников и включает понятия полюсника PO — Pole Object, имеющего изолирующую оболочку C — Capsule, внешние полюса взаимодействия с другими объектами — полюсниками, внутренние подобъекты — полюсники, соединенные узлами K — Knots и узлами — идеальными связями IR — Ideal Relations, по которым движутся, преобразуются и накапливаются в модели потоковые объекты систе-

мы — транзакты T — переносчики материи, энергии, информации.

Проблемологический процессорный базис ABCDEFGS содержит набор материально-информационных операторов, составляющих конструктивно-процедурную априорику информационных задач предметики. Он позволяет описать целевую ориентацию, критерии успешности деятельности и средства преобразования вещества, материалов, деталей, изделий, данных, знаний, оценки их достоверности, оперативности получения, использования и т. д. Интегрированная модель материально-информационной системы и технологии является основным объектом семиомоделирования и представляется в виде семиома $SeM = \{P, Pobj, \Phi R\}$, который объединяет все существенные аспекты формализации и позволяет согласовать различные формы выражения знаний о выделенном фрагменте реальности, о состоянии активно действующего субъекта, который изучает и преобразует окружающую его действительность.

В состав семиома входит метазнак Π выделенного фрагмента, представленный в семиотическом базисе ПИКАД, полюсник $Pobj$ — структурная модель фрагмента, представленная в структурном системологическом базисе РОСКИРТ, и функционально-реляционная модель ΦR фрагмента в ролевом f_{sr} -базисе, определяющая процедурно-декларативную семантику f_{sr} -модели фрагмента.

Семиомы порождаются и преобразуются процессорами ABCDEFGS проблемологического базиса, которые определяют конструктивные формализации практически всех типов природных и информационных взаимосвязей, а сами операторы проблемологического базиса при их анализе и синтезе в процессе решения метазадач также представляются семиомами, основными объектами семиоматики — математики смыслов, которая изучает сети семиомов, их генерацию, целевые преобразования, строит эффективные модели и алгоритмы, метаязыки и метатехнологии преобразования знаний, представленных семиомами [8].

Модели семиоматики открывают возможности применения строгих математических методов в задачах анализа и синтеза смысловых структур, которые до сих пор описываются неформально на естественном языке с опорой на субъективную интуицию. Успешное развитие этого раздела теоретической информатики связывается с последующей активизацией формализмов, с переходом от языка классической логики к неклассиче-

ским логикам с информационной семантикой: частотной, трилогики, тетралогики, корреляционной логики [1], допускающих логические аппроксимации, описание неопределенностей, строгое совмещение семантики и моделей конечной математики — финитики, математики неопределенностей — индефинитики и математики смыслов — семиоматики, этих наиболее перспективных разделов теоретической информатики и конечно классической математики, расширяющих области применения строгих математических методов на ранее неформализованные области знаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверев Г. Н. Основания теоретической информатики: Учеб. пособие. Разд. 1–9. Уфа: УГАТУ, 1995–1999.
2. Зверев Г. Н. Модели неопределенностей и фундаментальные критерии информатики // Информационные технологии. 2000. № 6. С. 2–10.
3. Зверев Г. Н. Точные и аппроксимационные логики в машинных рассуждениях // Тр. V Российской конф. по искусственному интеллекту. 1996. Т. 1. С. 62–66.
4. Зверев Г. Н. Частотная логика — альтернатива классической логике в новых информационных технологиях // Информационные технологии. 1998. № 11. С. 2–10.
5. Зверев Г. Н. Оценка точности логических приближений и границ применимости классической и неклассических логик в системах моделирования и принятия решений // Информационные технологии. 1999. № 12. С. 10–20.
6. UML Summary, Notation Guide. Version 1.1.1. September 1997. (<http://www.rational.com>)
7. Дмитров В. И., Макаренко Ю. М. CALS-стандарты // Автоматизация проектирования. 1997. № 2, 3, 4.
8. Zverev G. N. Semiotics and theoretical informatics // Proc. of the 2nd Int. Workshop on Computer Science and Information Technologies. Ufa, 2000. V. 2. P. 125–129.

ОБ АВТОРЕ



Зверев Геннадий Никифорович, профессор кафедры проектирования средств информатики УГАТУ. Дипл. инж.-геофизик (Грозненский нефтяной ин-т, 1958). Д-р техн. наук по геофизике (заш. в МИНХиГП, 1982). Исследования в области информатики и искусственного интеллекта.