

Методы интеграции априорных и экспериментальных знаний на основе семантического моделирования¹

Г. Н. Зверев

Проблема интеграции фактических и теоретических знаний предметных областей изучается с позиций формализации информационной семантики, представленной четырьмя базами 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 — пространства причин, наблюдений, искомым, решений, характеристик, критериев, управлений, на которых определяются модели неопределённости и схема косвенного обращения. Формализованную информационную семантику представляет интегрированная семиомодель — семиом, объединяющий семиоматическую, структурную и ролевую модели объекта или процесса предметики.

Ключевые слова: теоретическая информатика, семиотика, системология, знание, искусственный интеллект, обратная задача.

Вторая половина уходящего века характеризуется 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 моделей, 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, повысить адекватность 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, корректировке, выполняемой людьми с учетом априорной и смысловой информации, которой не обладает вычислительная система.

Повышение качества машинных решений и информационных технологий в целом можно ожидать, во-первых, от совершенствования теорий предметик и их мо-

¹ Работа поддержана грантом Минобразования РФ в области информатики и кибернетики 1998-2000 гг.

делей, 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 априорки информационных задач и формализацию семантики информационных ситуаций.

Любая информационная деятельность, которую мы пытаемся автоматизировать, направлена на получение новых знаний и снятия, а точнее сказать, уменьшения 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, характеризацию 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 количественного 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 есть погрешность погрешности $\Delta\Delta$, 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 $q(x)$, аналитический Q_x моделью 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 естественнонаучных и технических систем, предполагая отсутствие противо-

речий, 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 семиотические переменные, которые в отличие от классических математических (синтаксических) переменных имеют изменяемую семантику, формализованную в семиотическом базисе ПИКАД, где П — метазнак, любое понятие предметики, представленное четырехслойной структурой, как знак в широком смысле; И — имя, это знак в узком смысле, материализованное обозначение, идентификатор понятия П, в знаковом (информационном) процессе, КАД — обозначаемое, значение (смысл) метазнака или понятия, состоящее из трех разных смыслов; Д — дент знака, прямое значение понятия, на которое указывает имя; К — конт знака, косвенное значение понятия, его образ в виде модели, знаковой структуры в памяти человека или информационной системы; А — 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 состояния материально-информационных объектов и процессов в виде статусных s -объектов, преобразования реальности в виде функциональных f -объектов, связи между объ-

ектами 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 ($\Delta f, \Delta s, \Delta r$) 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 сплюснутость Земли у полюсов, а понятие «Земля — эллипсоид», в котором вместо скаляра — радиуса используется тензор — квадратная матрица третьего порядка размеров и углов пространственной ориентации эллипсоида — 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 адекват-

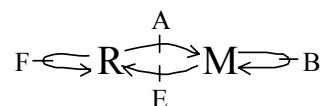
ности, модели остаточной неопределенности. Последний вид знаний, в отличие от *основных* знаний, называется *метазнанием*, информацией об информации, куда включают не только характеристики качества знаний, их полноты, достоверности, но и метаправила, иерархические модели неопределенностей, абстракций, 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 алгоритмах решений реальных информационных задач исследования, проектирования, управления учесть известные искажения и неопределенности, привлечь дополнительную априорную информацию, которой владеют специалисты, использовать ее не на этапе 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, информационные объекты модельного мира M , существующего внутри информационной системы. Это преобразование выполняет материально-информационный процессор — *сенсор* A . *Реформный* 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' . Реформный процесс реализует информационный знаковый процессор — *рефор* В, 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* Е 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 — готовые детали будущего изделия.

Линейные последовательности АВЕ, АВЕF операторов сенсорного, реформного, эффекторного, материального процесса выражают простейшие модели человеческой деятельности: исследования (наблюдения, обработки измерений), проектирования, управления, принятия решений, материального производства. Последующая детализация и повышение адекватности моделей связана 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 А, вычислительная и управляющая система — рефор В, исполнительная система — эффектор Е вместе с материальным процессором F разбивается на подсистемы, между которыми устанавливаются прямые и обратные связи. Всякая информационная задача в этих системах и ее алгоритм оперирует моделями АВЕF и данными, экспериментальными, полученными сенсором, и априорными, полученными рефором и сенсором в предшествующие циклы деятельности. Наиболее 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. Это 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 А, В, Е, 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 АВЕF, 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 А: $(y_1, y_2, \dots, y_m) \in y \in Q_y$ — фактически дос-

тупная область наблюдений,
 $Q_y \subseteq Y = Y_1 \times \dots \times Y_m$;

X — пространство искомым 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 В: $\hat{x} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_{\hat{n}}) \in Q_{\hat{x}}$ — область решений, (в обычных формализациях $\hat{n} = n, \hat{X} = X, Q_{\hat{x}} \neq Q_x$);

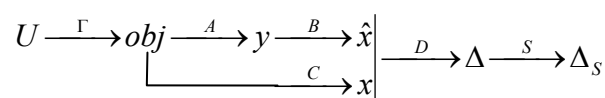
H — пространство характеристик, информационно-материальных показателей качества процессов решения, исследования, проектирования, управления, производства, $h = (h_1, h_2, \dots, h_r) \in Q_h$ — область допустимых значений свойств и характеристик решений,
 $Q_h \subseteq H = H_1 \times \dots \times H_r$;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

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

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 охарактеризованных *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 кос-

венного 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 — генератор, 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 В из пространства решений $\hat{X}, X = C'(obj) = C(u)$ — истинное (действительное) значение целевого свойства объекта из пространства искомым 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 генератором Γ , а индивидуальные оценки ошибок накапливаются в операторе связки S и по завершении исследования универсума U объектов предметной области на выходе S выдается сводная (средняя, типичная, ожидаемая) оценка достоверности Δ_s результата работы сенсора-рефора АВ в заданном классе ситуаций исследования, проектирования, управления: $\Delta_s = S(\{\Delta\})$.

Базисными информационными характеристиками и критериями качества является 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 $\Delta_s(A, B, C, D, \Gamma, S)$. Используя 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 $J=(A, C, D, E, F, \Gamma, S)$, технологию 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 удастся получить аналитические решения задачи вычисления многомерных интегралов в пространстве причин U от функции Δ_s 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, $y_i = u_i + v_i$, в противном случае A есть *косвенные наблюдения*. Если пространство искомого X есть проекция пространства причин U , то реформный процесс B есть *прямое обращение* сенсорного процесса A , восстанавливающего целевые (искомые) причины x по наблюдаемым свойствам u в соответствии с априори заданным критерием обращения, в противном случае реформный 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 $y = y_T$, 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 $\min T$ при удовлетворительной точности: $\Delta_s \leq \Delta_r$ — граница ошибки, либо $\min \Delta_s$ при $T \leq T_r$ — временная граница решения.

Такого типа обобщенное обращение реализуется *методом наилучшей точности МНТ*. В более общей постановке используются ценностные критерии минимальных рисков, ожидаемых платежей *метода наилучшей ценности МНЦ*. $\min \lambda$ при заданных ограничениях на информационно-материальные ресурсы.

Дескриптивная априорика информационной задачи $J=(A, B, C, D, E, F, \Gamma, S)$, как и экспериментальные данные, подвержены разного рода искажениям, 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 Γ_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, ин-

терполяцией, экстраполяцией, картирования, прямой и обратной многомерной фильтрации сигналов, численного 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 $m \cdot n$, то в линейном приближении получаются быстрые алгоритмы наивысшей точности с оценкой погрешности $\Delta = \hat{x} - x$ при любом соотношении между числом уравнений m , числом неизвестных n и рангом r размытой (случайной) матрицы A произвольного ранга $r \geq 0$, 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 истинности 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 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 облас-

тей никогда не затихает, а в последние годы возрастает 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 терминосистемы предметики в целом. 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 и накапливаются в модели потоковые объекты системы — 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, их достоверность, оперативность получения, использования и т.д. Интегрированная модель материально-информационной системы и технологии

является основным объектом семиомоделирования и представляется в виде *семиома* = {П,Р,Ф}, 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* П выделенного фрагмента, представленный в семиотическом базисе ПИКАД, *полюсник* Р — структурная модель фрагмента, представленная в структурном системологическом базисе РОСКИРТ, и *функциональная модель* Ф фрагмента в ролевом *fsr*-базисе, определяющая процедурно-декларативную семантику *fsr*-модели фрагмента.

Семиомы ПРФ 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 семи-

омов, 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 объективизацией формализмов, с переходом от языка классической логики к неклассическим логикам с информационной семантикой: частотной, трилогики, тетралогии, 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, расширяющие области применений строгих математических методов на ранее неформализованные области знаний.

Литература

1. Зверев Г. Н. Основания теоретической информатики. Разд.1-9. — Уфа, УГАТУ, 1995-99.
2. Зверев Г. Н. Модели неопределенностей и фундаментальные критерии информатики – Информационные технологии, №6, 2000, с.2-10.
3. Зверев Г. Н. Точные и аппроксимационные логики в машинных рассуждениях //Тр. V Рос. Конференции по искусственному интеллекту, т.1, 1996, с.62.-66.
4. Зверев Г. Н. Частотная логика — альтернатива классической логике в новых информационных технологиях - Информационные технологии, №11, 1998. – 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, №12, 1999, с.10-20.
6. UML Summary, Notation Guide. Version 1.1.1. September 1997 (<http://www.rational.com>)
7. Дмитриев В.И., Макаренко Ю.М. CALS-стандарты. Автоматизация проектирования, №2,3,4, 1997.
8. Zverev G. N. Semiotics and Theoretical Informatics // Proceedings of the 2nd International Workshop on Computer Science and Information Technologies, v. 2, Ufa, 2000, p. 125–129.