

УДК 658.5

МЯГКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯРИЗИРУЮЩЕГО БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА*

С. В. ПРОКОПЧИНА

доктор технических наук, профессор кафедры «Системный анализ и моделирование экономических процессов», Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,

Москва, Россия

Email: svprokopchina@yandex.ru

Статья посвящена решению задачи измерения и управления сложными антропогенными объектами. Основным математическим подходом является регулирующий байесовский подход. Рабочий пример анализа приведен для задачи измерения и управления.

Ключевые слова: байесовские интеллектуальные технологии, анализ и прогнозирование, интегральная оценка состояния, управление и мониторинг.

Economic analyst

SOFT MEASUREMENT AND MANAGEMENT OF COMPLEX SYSTEMS ON THE BASIS OF REGULARIZATING BAYESIAN APPROACH

S. V. PROKOPCHINA

Doctor of technical Sciences, Professor of the Department "System analysis and modeling of economic processes", the Financial University under the Government of the Russian Federation
Moscow, Russia

Article is devoted to the decision of a problem of measurement and management of complex anthropogenous objects. The basic mathematical approach is regulating bayesian the approach. The working example of the analysis is given for a problem of measurement and management.

Keywords: *Bayesian intellectual technologies, analysis and forecasting, integrated estimation of a condition, management and monitoring.*

К числу основных требований к информационному обеспечению бизнес-процессов относятся: получение решений системы в виде готовых рекомендаций, альтернатив, сценариев развития бизнес-процессов и бизнес-ситуаций.

Под сложным объектом или системой в работе понимается управляемая или частично управляемая система, состоящая из взаимосвязанных

природных, техногенных, экономико-социальных систем, часть из которых в целом, а другая – частично состоят из подсистем, созданных человеческими сообществами, или обладают свойствами, регулируруемыми управляющими субъектами.

К числу таких систем относятся все сложные технические объекты, процессы и комплексы, социально-экономические системы, природополь-

* Материалы статьи впервые были опубликованы в сборнике статей XVIII Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM-2015 «Системная экономика, экономическая кибернетика, мягкие измерения в экономических системах» под редакцией Г.Б. Клейнера, С.В. Прокопчиной. СПб.:Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015.

зовательские системы и объединяющие их территориальные системы, практически все объекты и системы, которые связаны с деятельностью человека от управления корпорацией до управления регионами и странами.

Сложность измерения свойств таких систем и управления ими общеизвестна. Это объясняется спецификой самих систем, их уникальностью, невозможностью повторения событий, процессов и ситуаций, отсутствием средств измерений их свойств, часто имеющих качественный характер, множеством неизученных и меняющихся влияющих факторов и связей между ними, что в целом создает условия неопределенности, в которых не «работают» классические методы и модели измерений и управления.

Это относится прежде всего к методам измерений в их классической детерминированной постановке, методам классической математической статистики, методам эконометрики.

На практике приходится сталкиваться с подгонкой существующих моделей свойств и деятельности реально функционирующих систем к ограничениям, предположениям, допущениям и постулатам предлагаемых математических методов и моделей, что значительно сужает сферу их применения, а в ряде ситуаций делает их неприменимыми. Это обусловлено в первую очередь тем, что адекватные модели построить в условиях неопределенности достаточно сложно. Кроме того, активное влияние окружающей среды на систему факторов определяет изменчивость системы, что приводит к необходимости перестройки модели в ходе функционирования реальной системы и обработки информации. Для построения адекватных моделей следует накапливать и перерабатывать все имеющиеся данные и знания об объекте измерения или управления.

Такая же ситуация сложилась и с прикладными компьютерными информационными системами, используемыми в настоящее время для решения измерительных и управленческих задач. Их функционирование базируется на программном обеспечении, основанном на «жестких» моделях и алгоритмах по сути с заранее заданным набором или ограниченным пространством решений. Кроме того, пользователь, решающий подобные задачи, должен приспосабливаться к условиям реализации этих алгоритмов на компьютерах, зачастую в совсем неудобном и неорганичном для прикладной задачи режиме представления данных, знаний и получаемых решений.

В современных измерительных и управленческих науках формируются новые подходы к решению задач в условиях неопределенности.

Все сказанное определяет актуальность создания методологии разработки технологий обработки данных и решения задач в условиях неопределенности.

1. Обоснование принципов решения прикладных задач в условиях значительной информационной неопределенности

Целесообразно выделить принципы, которые являются основными для построения гибких и «мягких» подходов и технологий к решению вышеуказанных задач, эффективному в условиях значительной неопределенности.

Первый принцип. При решении основных типов измерительных и управленческих задач приходится сталкиваться с применением моделей, оценкой характеристик и параметров, идентификацией ситуаций и процессов. В условиях неопределенности эти задачи содержат этапы с неопределенностью или отсутствием моделей и параметров объектов измерений или управления. И так как эти задачи составляют основу целей мониторинга, аудита, нормирования, управления, планирования, то для успешной реализации вычислительного процесса решения прикладной задачи в условиях неопределенности постановка задачи измерения или управления должна быть определена в виде совокупности прямых и обратных задач восстановления значений, состояний, ситуаций по полученной информации. При получении новой информации об объекте прикладной задачи процесс ее решения на основе методов оптимизации с поиском экстремума целевой функции повторяется в итерационном режиме. При этом в условиях неопределенности экстремум целевой функции может быть определен в вероятностной, условной форме и представлен нечетким решением в виде списка альтернатив с их степенью достоверности. В общем случае и сама целевая функция может быть представлена в нечеткой форме, уточняемой в процессе накопления информации при решении задачи. Это принципиальное замечание связано с необходимостью в условиях неопределенности ее снижения за счет поступления новых знаний, то есть изучения объекта прикладной задачи и окружающей его среды. В такой постановке технологии

решения обратных задач и в целом прикладных задач измерения и управления могут быть определены как интеллектуальные технологии решения обратных задач и интеллектуальные технологии решения задач измерения и управления.

Второй принцип. Для обеспечения устойчивости решения прикладной задачи в условиях неопределенности необходима регуляризация решений на компакте решений.

Это связано с необходимостью обрабатывать информацию из информационных потоков со значительной степенью энтропии, добавляющей неопределенность в информационную ситуацию, делающей получаемые решения размытыми, нечеткими, неполными и неточными. Для устранения и недопущения неконтролируемого добавления энтропии необходимо обеспечить непрерывность измерительно-вычислительно-аналитического процесса получения решения прикладной задачи. То есть необходимо, чтобы компакт решений, объединяющий компакты всех частных решений, был непрерывным и целостным. Это может быть обеспечено только на основе непрерывного контроля качества входных информационных потоков и получаемых решений, их сопряженности и согласованности друг с другом согласно последовательности этапов процесса обработки информации.

Выбор метода регуляризации определяет возможности, мощность и сферу применимости технологии или алгоритма.

При отсутствии достаточной информации ограничения, формирующие пространство компакта решений могут быть определены в нечеткой или вероятностной формах. Это обуславливает формирование компакта решений также в нечеткой или вероятностной формах. Ограничения могут изменяться во времени, что ведет к динамичности границ компакта решений. Все в целом формирует нечеткий динамический компакт решений.

Нечеткий динамический компакт решений – это компакт с нечеткими динамическими границами.

Третий принцип. Развиваемость функциональных и контентных возможностей методов, моделей, алгоритмов.

Это вопросы обеспечения динамичности компактов решений, функциональных алгоритмических наборов, моделей, измерительных шкал, ограниче-

ний и нормативов, что обусловлено меняющимися свойствами прикладных систем и объектов.

Для реализации гибких моделей и методов измерения и управления в условиях неопределенности необходимо, чтобы пространство решений, модели, измерительные шкалы, измерительные и управленческие технологии могли изменяться во времени в соответствии с изменением свойств, структур и функций объектов измерений и управления.

Четвертый принцип. Метрологическое обеспечение моделей, алгоритмов, решений. Оно должно сопровождаться параллельным основному процессу обработки информации процессом вычисления комплексов метрологических характеристик, получаемых промежуточных и основных решений. Такие комплексы должны включать показатели точности, надежности и достоверности решений с вычислением риска их практических применений, энтропии и количества данных, получаемых на этом этапе процесса обработки информации. В задачи метрологического сопровождения и обеспечения должны входить как задачи метрологического анализа и вычислений показателей качества получаемых решений, так и задачи метрологического синтеза для получения алгоритмов обработки с требуемыми метрологическими характеристиками и для обеспечения управляемости информационно-технологическими процессами.

Пятый принцип. Информационные технологии обработки информации в условиях неопределенности должны иметь обратные связи с возможностью коррекции алгоритмов, моделей, решений с целью их непрерывного контроля и улучшения.

Шестой принцип. Когнитивность и интерпретируемость решений не только для их понимания, но и для активного использования и вовлечения в процесс обработки информации интуиции и логики экспертов и пользователей как составных частей систем, моделей и алгоритмов обработки информации.

Седьмой принцип. Возможность обработки и свертки как числовой, так и качественной, лингвистической информации для полноты использования как данных так и знаний в процессе обработки, интеграции и передачи решений на высшие уровни иерархии моделей.

Восьмой принцип. Итерационность и последовательная взаимосвязанность процессов сбора и интеграции информации, идентифика-

ции моделей объектов и оценки их параметров (решение обратных задач), а затем определение искомого решения основной целевой задачи (решение прямых задач) и вновь повторение этого цикла с новыми данными и знаниями, поступившими во время предыдущего цикла.

Девятый принцип. Условность полученных решений (в виде моделей, рекомендаций, оценок, выводов, сценариев развития событий) в рамках принятых допущений, ограничений и требований. В условиях неопределенности, как уже отмечалось, необходимо решение обратных задач измерения, оценивания, идентификации. При решении этих задач в такой постановке сами ограничения и допущения являются меняющимися и в значительной мере неопределенными с точки зрения их абсолютной истинности. Это предопределяет их условный и вероятностный характер, что приводит к необходимости вычисления степени вероятности, возможности, достоверности получаемых решений. Таким образом, при изменении влияющих факторов самого объекта или окружающей среды, необходимо корректировать постановку задачи, формулируя новые требования, критерии (нормативы) и ограничения, адекватные новым условиям.

Очевидно, что перечень принципов не полон, но существенен для создания технологий решения измерительных и управленческих задач в условиях значительной неопределенности.

Можно утверждать, что, если в теоретических построениях или практических методиках не учтен хотя бы один из сформулированных выше принципов, трудно ожидать полезного решения прикладных задач в реальных условиях их реализации. Условия неопределенности сопровождают решение практически всех антропогенных задач.

2. Обобщенная методика и схема решения задач в условиях неопределенности на основе регуляризирующего байесовского подхода

Изменение свойств сложного объекта и взаимосвязей объекта и внешней среды задает необходимость постоянной коррекции модельных представлений об объекте, оценок его свойств, критериев и других компонентов информационного пространства. В условиях значительной неопределенности модель сложного объекта и среды его окружения должна изменяться в за-

висимости от получаемой информации и меняющихся требований, ограничений, целевых функций и критериев решаемой задачи. В концептуальной форме это можно определить как изменение степени «погружения» модели $G^{(M)}(t)$ в систему объекта $G^{(O)}(t)$ и формально представить в виде выражения (1):

$$G^{(O)}(t) \rightarrow G^{(M)}(t), \quad (1)$$

где $G^{(O)}(t)$ – система динамического объекта $G^{(O)}(t) = Q^{(O)}(t) \cdot R^{(O)}(t)$ со свойствами $Q^{(O)}(t)$, отношениями $R^{(O)}(t)$, меняющимися в зависимости от времени t ;

$G^{(M)}(t)$ – система динамической модели $G^{(M)}(t) = Q^{(M)}(t) \cdot R^{(M)}(t) \cdot L^{(M)}(t)$ со свойствами $Q^{(M)}(t)$, отношениями $R^{(M)}(t)$ и ограничениями, допущениями, требованиями $L^{(M)}(t)$ постановки задачи, также меняющимися во времени [56].

Важной задачей является создание методологических и информационно-технологических разработок, обеспечивающих более полное и глубокое отражение системы объекта в модели на основе развития структуры модели.

Информационные технологии должны позволять перестроить информационное пространство в соответствии с нужными требованиями, ограничениями и критериями для определенной прикладной задачи.

Уравнения решения измерительных и управленческих задач в условиях неопределенности в оптимизационной форме можно записать в следующем виде:

$$\{hkt(Q)|\{MX\}kt(Q)\} Y_t(O) \cdot Y_t(OE) \cdot G_t(OE) = \{arg\ exstr\ C\ [j(\{Xit\} Y_t(O) \cdot Y_t(OE) \cdot G_t(OE))]\} \quad (1)$$

где – $\{hkt(Q)|\{MX\}kt(Q)\} Y_t(O) \cdot Y_t(OE) \cdot G_t(OE)$ – нечеткое решение задачи в условиях (определяемых априорной информацией, требованиями, ограничениями и допущениями) функционирования объекта $Y_t(O)$; в условиях влияющих факторов окружающей среды $Y_t^{(OE)}$; в компактах совокупности свойств объекта $G_t^{(O)}$ и среды $G_t(OE)$

$\{MX\}kt(Q)$ – комплекс метрологических характеристик решений;

C – критерий, задающий логику решения задачи;

j – технологии, задающие и реализующие регуляризацию решений;

($\{X_{it}\}$) – совокупность потоков информации, используемой для получения решений.

Основные этапы организации процесса решения задач в условиях неопределенности:

1. Постановка задачи в нечеткой формулировке, определение цели задачи.
2. Идентификация ситуации и типа задачи.
3. Формирование пространства входной информации.

4. Метрологическое обоснование источников информации.

5. Формирование моделей объекта измерения или управления на основе решения обратных задач измерения, оценивания и идентификации, а также моделей окружающей среды в нечеткой форме, в форме списка возможных моделей объекта измерения или управления с определением их достоверности.

6. Выбор сбалансированных показателей свойств объектов согласно разработанных моделей и их свертка в единое пространство.

7. Выбор правила вывода, критериев и логики принятия решений.

8. Формирование и метризация пространства решений.

9. Создание конкретных измерительных шкал для свойств объекта.

10. Решение обратных задач измерения, оценивания, идентификации:

11. Планирование и организация процесса решения основной задачи с целью обеспечения требуемого качества решений.

12. Реализация процесса решения основной задачи и получение решений в виде набора альтернатив с определением их возможности, надежности, достоверности, риска, информативности и т.д.

13. Проверка качества решений.

14. Коррекция всех составляющих процесса определения решений.

15. Повторение процесса, начиная с первого этапа для получения уточненного решения задачи.

В качестве резюме вышесказанного можно привести обобщенную схему решения прикладных задач в условиях неопределенности на основании сформулированных принципов.

Графическая иллюстрация схемы решения задачи согласно приведенной методике представлена на рисунке 1.

3. Решение задач измерения и управления в условиях неопределенности на основе регуляризирующего байесовского подхода (РБП)

Одним из подходов, позволяющих решить вышеуказанные задачи в новой постановке, соответствующей условиям неопределенности, учитывая перечисленные принципы, является регуляризирующий байесовский подход (РБП). Являясь модификацией байесовского подхода вычисления вероятностей на основе известной формулы Байеса, РБП ориентирован на условия значительной неопределенности, при которых могут быть неизвестны составляющие байесовской формулы. Для их определения в процессе функционирования вычислений используются все данные и знания, представленные как в числовой, так и в лингвистической формах. Определение составляющих байесовской формулы производится в ходе вычислительного эксперимента. Информационные технологии решения прикладных задач на основе РБП, названы байесовскими интеллектуальными технологиями (БИТ).

На основе прикладных БИТ решаются задачи изучения свойств сложных объектов, классификации, измерений, мониторинга, аудита, нормирования, управления в условиях неопределенности.

В работах [1–17] рассмотрены вопросы теоретического обоснования и практического использования РБП для решения широкого круга прикладных задач и показана реализация вышеуказанных принципов в байесовских интеллектуальных технологиях (БИТ).

Рассмотрим кратко идеи, реализованные в РБП и БИТ, отражающие сформулированные выше принципы.

Задачи определения состояний и свойств сложных объектов на основе РБП состоят в непрерывном изучении свойств и характеристик этих объектов путем обобщения прошлого опыта работы с ними и вновь поступающей информации с позиций измерительного подхода, принципиальную основу которого составляет метрологическое обоснование получаемых решений. Новые знания, получаемые в ходе такого измерительного процесса, объединяются с архивами прошлых и служат априорной информацией для будущих экспериментов. При этом чем объемнее и разнообразнее поступающая информация, обобщаемая далее на основе принципов теории измерений и метрологии, тем полнее и достовернее получаемые результаты.

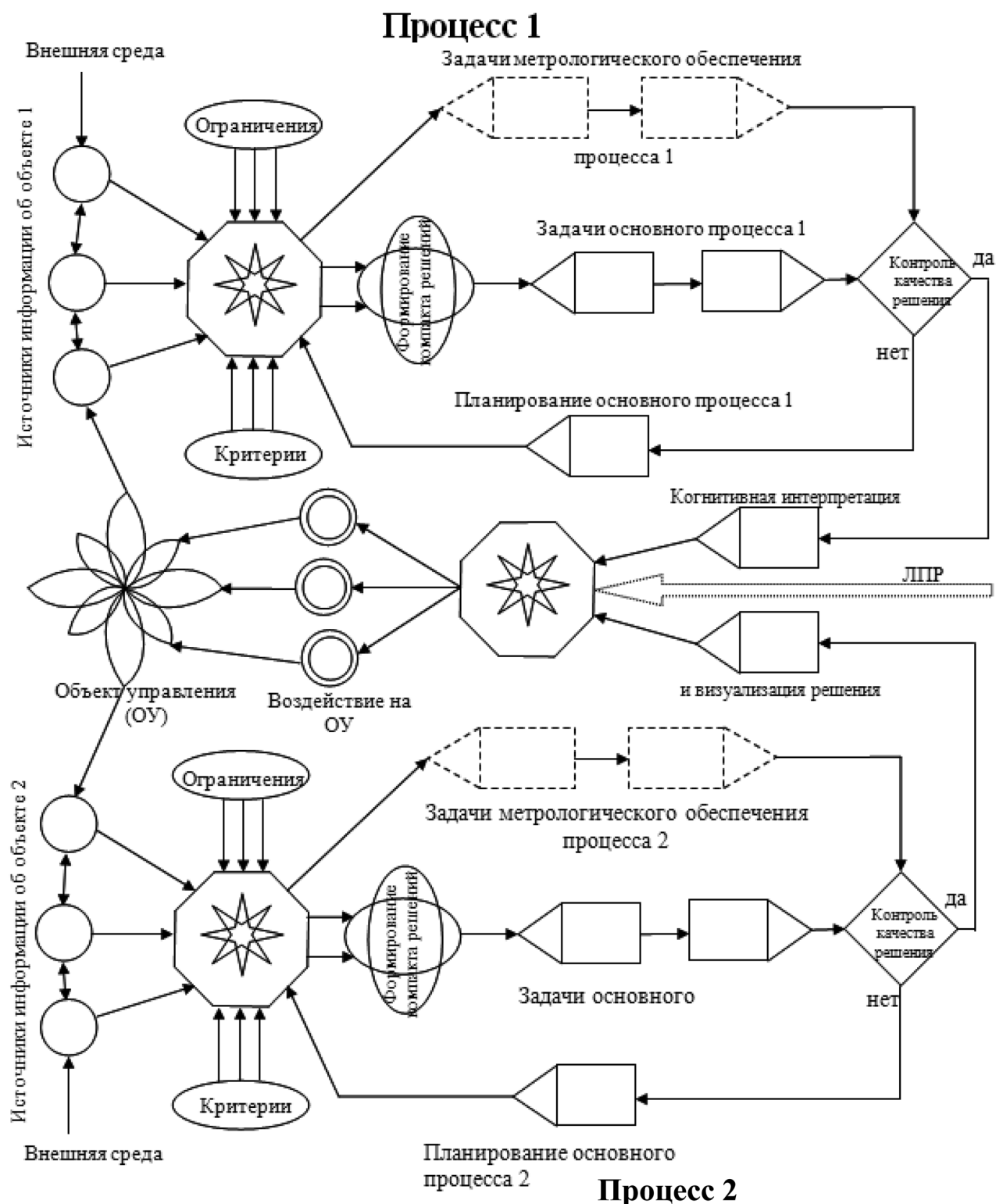


Рис. 1. Обобщенная схема решения задач управления сложными объектами в условиях неопределенности



Именно эта идейная основа РБП, заложенная в классическом байесовском подходе, его индуктивная (обобщающая) логика послужила основой для реализации принципа интеграции и свертки информации.

В выводах индуктивной логики байесовского подхода возможно получение решений с определенной степенью сомнения, выражаемой количественной мерой апостериорной байесовской вероятности (достоверности) решения $P(H^i)$. Эта величина вычисляется по модифицированной формуле Байеса для РБП.

Постулатами РБП служат принципы классического байесовского подхода:

- свойства объектов задач, их характеристики и параметры считаются неопределенными;
- результаты наблюдений и экспериментов считаются неслучайными событиями, порождающими ряд гипотез о послуживших их появлению причинах: событиях, процессах, ситуациях;
- априорная информация объединяется с поступающей на основе интегральной свертки информационных потоков для получения апостериорного распределения гипотез;
- вывод или решение принимается на основе оптимизационного правила, минимизирующего риск принятия полученного решения или максимизирующего полезность и безопасность решения.

Эти принципы, развитые позднее в работах ученых-байесианцев, позволили прийти к понятию субъективной (фидуциальной) вероятности, что создало научную основу для привлечения неформализованного опыта специалистов к принятию решений. Эта возможность в свою очередь обусловила возможность эффективной работы с выборками малого объема, так как, по выражению Д. Эванса, «знания могут компенсировать отсутствие данных».

Априорная неопределенность исходной информации и основных компонент байесовского правила, имеющая место в большинстве практических приложений байесовского подхода, может быть определена в измерительных задачах как измерительная ситуация в условиях неопределенности. В этих условиях задачу оптимального байесовского оценивания можно рассматривать как задачу восстановления измеряемой характеристики H по экспериментальной неполной информации, что делает задачу байесовского оценивания в математической

постановке некорректной, а получаемые решения неустойчивыми. Для получения однозначного и устойчивого решения задача байесовского оценивания должна быть введена в класс корректных, что определяет необходимость модификации подхода в направлении придания ему регуляризующих свойств. Таким образом, возможно построение сколь угодно сложных иерархических структур байесовских правил. Это обуславливает возможность реализации байесовского подхода для прямых, косвенных, совокупных и совместных ИИ.

Одним из способов повышения степени устойчивости решений является ограничение пространства возможных решений путем формирования системы дополнительных ограничений, приводящих к созданию условного (в рамках поставленных ограничений и допущений) компактного пространства устойчивых решений.

Основная идея регуляризующего байесовского подхода (РБП) состоит в привлечении измерительного подхода в процесс байесовского оценивания путем применения шкалирования, метризирующего и регуляризующего пространство решений. Получение результатов ИИ на компактах иерархических в соответствии со структурами объектов метрических шкал обеспечивает, согласно теореме Тихонова, их устойчивость в пределах этих компактов. Таким образом, введение измерительной шкалы, обуславливая дополнительные ограничения на пространство возможных решений, оказывает регуляризующее действие, что обосновывает название данной модификации байесовского подхода и позволяет ввести задачу ИИ на основе РБП в класс условно-корректных, по Тихонову. Алгоритмы ИИ, реализующие такую идейную основу будут обладать регуляризующими свойствами при проведении измерений в сложных измерительных ситуациях при значительной априорной неопределенности информации об ОИ и влияющих факторах (ВФ). Интеллектуальные измерения, реализуемые на основе РБП называются байесовскими интеллектуальными измерениями (БИИ). Для построения алгоритмов БИИ необходимо определить их принципиальную основу, которая характеризуется уравнением измерений.

Обобщенное уравнение БИИ определяется уравнением (1). Его решением является последовательность альтернативных решений, обеспечивающих минимальное значение среднего риска получаемых решений. В своей совокупности эта

последовательность представляет собой байесовскую регуляризующую оценку (РБО).

Реализация познавательной функции измерений, организация БИИ характеристик динамических сложных объектов управления (ОУ) в режиме их нормального функционирования, а также объектов, активно взаимодействующих с развивающейся средой (ВФ), при меняющихся условиях измерений связана с необходимостью адекватного изменения моделей ОИ и ВФ, что обуславливает требование синтеза алгоритма БИИ в процессе измерений или управления.

В идеальной ситуации шкала адекватно отражает все свойства ОИ. Однако, как известно, уже при моделировании ОИ возникает ряд ограничений, приводящих к гомоморфности отображения свойств объекта на уровне модели. В задаче БИИ процесс отражения свойств объекта на шкалу имеет двухуровневую структуру, состоящую из этапов отображения свойств реального объекта в модели ОИ и отображения свойств модели ОИ на измерительной шкале.

4. Метрологическое обоснование информационных технологий решения задач в условиях неопределенности позволяет производить оценку качества информации каждого источника данных и каждого получаемого решения в виде комплексов метрологических показателей: точности, надежности, достоверности, риска, энтропии, количества информации

Точность определяется по формуле (2):

$$\xi_s = \frac{\max_{h_s \in H_k} \rho(h_s, h_{s+1})}{\rho(h_K, h_1)}, \quad (2)$$

где $\rho(h_K, h_1)$ – диапазон шкалы H_K ,

$\max_{h_s \in H_k} \rho(h_s, h_{s+1})$ – максимальное расстояние между соседними элементами носителя шкалы.

Надежность результата характеризует устойчивость решения. Показатель надежности основан на уровнях ошибки первого и второго рода и определяется как (3):

$$V_s = (1 - \alpha_s)(1 - \beta_s), \quad (3)$$

где α_s – уровень ошибок первого рода (отражающий вероятность отвержения правильного решения на шкале);

β_s – уровень ошибок второго рода (характеризующий вероятность принятия неправильного решения на шкале).

Говоря об ошибках первого и второго рода можно провести аналогию с проблемой вероятности принятия неверных решений при приеме товаров. В этом случае α (риск производителя) – это вероятность отказа от приемки партии продукции, которая оказалась бы приемлемой с точки зрения потребителя. А β (риск потребителя) – это вероятность приемки партии продукции, неприемлемой для потребителя.

Уровень ошибок первого и второго рода на шкале выбирается как максимальный из всех вероятностей ошибок первого и второго рода гипотез шкалы.

Достоверность. Показателем достоверности каждой гипотезы на шкале служит апостериорная вероятность его появления, определяемая по формуле Байеса. Достоверность самой шкалы при этом принимается за сумму достоверности гипотез и соответственно равна единице. Однако во многих случаях из практических соображений с целью удаления малозначимых гипотез на шкале оставляют только набор гипотез, удовлетворяющих некоторому критерию значимости. В таком случае достоверность шкалы определяется как (4):

$$R = R^a \cdot \sum_{h_j \in H_r} P(h_j), \quad (4)$$

где R – окончательная достоверность решения на шкале;

R^a – достоверность шкалы до удаления незначимых гипотез;

H_r – множество значимых гипотез на шкале

Риск – величина, показывающая риск принятия данного решения. Вычисляется как $(1 - R)$, где R – достоверность.

Это позволяет создать единую технологию с возможностью управления качеством получаемых решений. Ниже приводится экран информационно-аналитической системы «Инфоаналитик», представляющий результаты решения прямой задачи метрологического сопровождения.

Сама динамическая БИТ-модель приведена на рис. 3.

5. Создание цепочек информационной ценности для оптимизации структуры вычислительного процесса в условиях значительной неопределенности

Вычисление метрологических комплексов для решений позволяет определять для каждого этапа вычислительного процесса степень энтропии и количество информации, получаемой на этом участке процесса обработки информации. Для

Результаты подсистемы Data mining - математическое моделирование:
dh = 1,766

Модель верхнего уровня: $X_{minH}(t) = 7,315 \cdot L[01.01.1997] + 0 \cdot dh \cdot L[01.01.1998] + 0 \cdot dh \cdot L[01.01.1999] + 3 \cdot dh \cdot L[01.01.2000] + 1 \cdot dh \cdot L[01.01.2001] - 3 \cdot dh \cdot L[01.01.2002] - 2 \cdot dh \cdot L[01.01.2003] + 5 \cdot dh \cdot L[01.01.2004] - 6 \cdot dh \cdot L[01.01.2005]$

Наиболее вероятная модель: $X_{max}(t) = 7,975 \cdot L[01.01.1997] + 1 \cdot dh \cdot L[01.01.1998] + 0 \cdot dh \cdot L[01.01.1999] + 3 \cdot dh \cdot L[01.01.2000] + 1 \cdot dh \cdot L[01.01.2001] - 3 \cdot dh \cdot L[01.01.2002] - 2 \cdot dh \cdot L[01.01.2003] + 5 \cdot dh \cdot L[01.01.2004] - 7 \cdot dh \cdot L[01.01.2005]$

Модель нижнего уровня: $X_{minB}(t) = 9,295 \cdot L[01.01.1997] + 0 \cdot dh \cdot L[01.01.1998] + 0 \cdot dh \cdot L[01.01.1999] + 3 \cdot dh \cdot L[01.01.2000] + 0 \cdot dh \cdot L[01.01.2001] - 2 \cdot dh \cdot L[01.01.2002] - 2 \cdot dh \cdot L[01.01.2003] + 4 \cdot dh \cdot L[01.01.2004] - 6 \cdot dh \cdot L[01.01.2005]$

Метрология и оценка риска моделей:

Метрологические характеристики и оценка качества модели верхнего уровня:

Точность 5,6%
Достоверность 0,28
Надёжность 0,6
Риск применения модели 72%

Метрологические характеристики и оценка качества наиболее вероятной модели:

Точность 5,6%
Достоверность 0,431
Надёжность 0,6
Риск применения модели 56,9%

Метрологические характеристики и оценка качества модели нижнего уровня:

Точность 5,6%
Достоверность 0,289
Надёжность 0,6
Риск применения модели 71,1%

Количество информации = -1,696[01.01.1997] -1,696[01.01.1998] -1,696[01.01.1999] -1,737[01.01.2000] -2,625[01.01.2001] -1,696[01.01.2002] -1,698[01.01.2003] -2,625[01.01.2004] -2,572[01.01.2005]

Энтропия (априорная) = 4,247[01.01.1997] 4,247[01.01.1998] 4,247[01.01.1999] 4,247[01.01.2000] 4,247[01.01.2001] 4,247[01.01.2002] 4,247[01.01.2003] 4,247[01.01.2004] 4,247[01.01.2005]

Энтропия (апостериорная) = 2,551[01.01.1997] 2,551[01.01.1998] 2,551[01.01.1999] 2,51[01.01.2000] 1,622[01.01.2001] 2,551[01.01.2002] 2,549[01.01.2003] 1,622[01.01.2004] 1,675[01.01.2005]

Рис. 2. Метрологические характеристики решений БИТ

оптимизации вычислительного процесса и повышения его эффективности можно оптимизировать его этапы в соответствии с их информационной ценностью, определяемой количественной мерой информации, получаемой на них. Таким образом, в прикладных задачах можно отбрасывать те этапы, на которых либо не добавляется полезной информации, либо прибавляется ее слишком мало. Следуя этому принципу, можно оптимизировать блоки структур систем управления, например управляющих подразделений корпораций, структур департаментов министерств и администраций или других управленческих систем.

6. Опыт реализации БИТ в задачах со значительной неопределенностью решений раз-

нообразных технических и социально-экономических управленческих задач для сфер тепло- и электро- энергетики, водоснабжения, промышленности, сельского хозяйства, туристического бизнеса, рыбохозяйственной деятельности, транспортных предприятий и дорожных хозяйств, инвестиционных проектов представлен, например, в докладах автора статьи, в работах участников 3, 7, 11, 12-й секций сборников докладов конференции за годы ее проведения в работах школы БИТ.

7. Развивающиеся технологии в качестве основного подхода для решения задач измерения и управления с неопределенностью подробно рассмотрены в работах автора и его коллег по данному научному направлению.

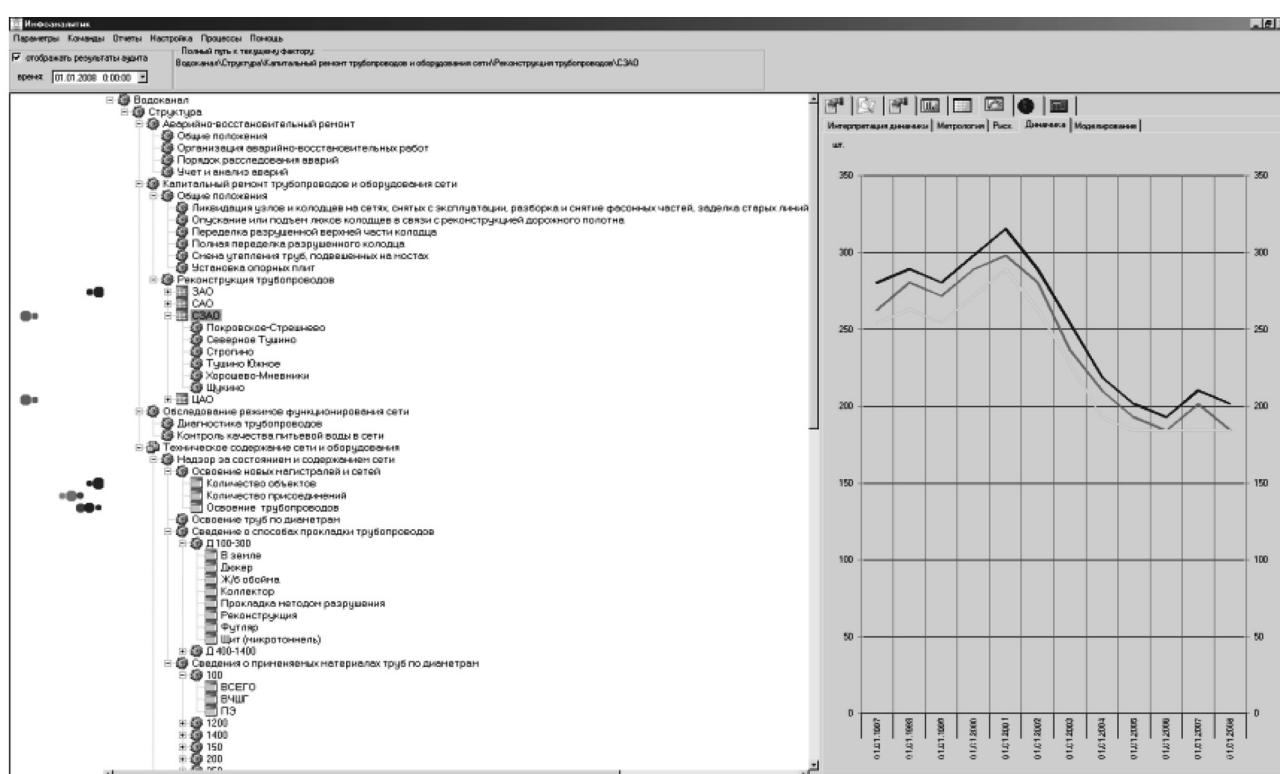


Рис. 3. Линамическая БИТ-модель

8. Средства повышения эффективности решения задач БИТ для повышения скорости обработки информации могут быть реализованы путем параллельных или распределенных вычислений. Опыт реализации БИТ на платформе Solaris SunMicrosystem, реализованный в рамках проекта Министерства науки и технологий Российской Федерации в 2001 году убеждает в простоте и эффективности таких решений. Для целей реализации параллельных вычислительных процессов БИТ (на рис. 1 процессы 1 и 2, отражающие, например, оценки состояния экономики и промышленности региона) перспективны технологии облачных вычислений. Распаралеливание низкого уровня (на уровне реперов шкал факторов) эффективно может быть реализовано на средствах, например компании TERADATA.

9. Программный комплекс «Инфоаналитик» как платформа для решения задач измерения и управления в условиях неопределенности и быстрой разработки БИТ-приложений неоднократно рассматривался в докладах конференции. На основе методологии РБП и БИТ разработаны 28 типов программных комплексов «Интеллектуальное рабочее место специалиста» (ИРМ специалистов) по различным направлениям деятельности.

Список литературы

1. Прокопчина С. В. Принципы создания развивающихся информационных технологий на основе регуляризирующего байесовского подхода // Сборник докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям «SCM-2005», Санкт-Петербург, 27–29 июня 2005. СПб., 2005. Т. 1.
2. Лукьянец А. А., Прокопчина С. В. Методология поддержки решений в управлении энергоснабжающими организациями на основе регуляризирующего байесовского подхода. Томск: Некоммерческий фонд развития региональной энергетики, 2006.

References

1. Prokopchina S. V. (2005) Principles for the establishment of emerging information technologies on the basis of regularizing Bayesian approach. In: Collection of papers of International conference on soft computing and measurements “SCM-2005”, 27–29 June 2005. Saint Petersburg. Vol. 1.
2. Lukyanets A. A., Prokopchina S. V. (2006) Methodology of decision support in the management of the utility companies on the basis of regularizing Bayesian approach. Tomsk.