

МЯГКИЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

С. В. ПРОКОПЧИНА

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

Abstract: The concept of sort approaches is considered. Main steps for development of soft spaces, soft models, soft criteries, soft functions and self-developing information technologies are suggested. The realization of concept's principals on the base of Regularization Bayesian Approach is given. The examples of scale and soft estimations are given also. Information system "Business-navigator" is presented.

Введение

Сложные системы характеризуются не только архитектурной и функциональной сложностью. Трудность управления такими системами, формального описания состояния сложных систем, их свойств и связей с окружающей средой обусловлена значительной информационной неопределенностью при малых объемах достоверных данных и нестабильностью (неустойчивостью, неединственностью и нечеткостью) оценок и решений. Поэтому для решения задач управления такими системами необходимы специальные подходы и методы обработки информации, ориентированные на такие ситуации.

1. Основные принципы мягких подходов к управлению сложными системами

Одним из направлений развития таких методов является разработка так называемых «мягких» подходов и методологий построения гибких саморазвивающихся информационных технологий для управления сложными объектами в условиях меняющихся внешних ситуаций, собственных характеристик объекта и взаимосвязей между ними, некоторые из таких подходов предложены в [1–5].

Как показано в работе [3], основными принципами создания мягких методов и информационных технологий являются следующие: approaches.

Первый принцип. Для обеспечения устойчивости решения прикладной системной задачи в условиях неопределенности необходимо *создание единого регуляри-*

рованного пространства решений и пространства интегрированной входной информации. **Регуляризация решений производится 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 и неустойчивыми. Для устранения и недопущения неконтролируемого добавления энтропии необходимо обеспечить непрерывность измерительно-вычислительно-аналитического процесса получения решения прикладной задачи на основе измерительного подхода. 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 мягкой (нечеткой или вероятностной) многоальтернативной формах. Это обуславливает формирование компакта решений также в мягкой, (нечеткой или вероятностной) формах. Ограничения могут

изменяться во времени, что ведет к динамичности границ компакта решений. Все в целом формирует «мягкий» динамический компакт решений.

Мягкий динамический компакт решений – это компакт с нечеткими, вероятностными, многоальтернативными динамическими границами.

Второй принцип. Постановка задачи измерения или управления в условиях неопределенности на основе мягких подходов должна быть определена в виде совокупности прямых и обратных задач восстановления значений, состояний, ситуаций по полученной информации.

Прямыми задачами являются задачи сбора и первичной обработки данных. К обратным задачам относятся задачи определения параметров, состояний, ситуаций как задачи восстановления значений и функций по полученной информации

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. При получении новой информации об объекте прикладной задачи процесс решения задачи на основе методов оптимизации с поиском *многоальтернативных* экстремумов целевой функции повторяется в итерационном режиме. В такой постановке технологии решения обратных задач и в целом прикладных задач измерения и управления могут быть определены как *интеллектуальные технологии решения обратных задач в условиях неопределенности и интеллектуальные технологии*

решения задач измерения и управления на основе мягких подходов.

Третий принцип. Развиваемость функциональных и контентности методов, моделей, алгоритмов.

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 информации, получаемой на данном 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 понимания их, но и для активного использования и вовлечения в процесс обра-

ботки 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, идентификации 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 обуславливает 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 вышеформулированных принципов, трудно ожидать полезного решения прикладных задач в реальных условиях их реализации. Условия неопределенности сопровождают решение практически всех системных задач.

В работах [1–5] предложены методы ***мягких измерений, мягкого аудита и мягкого управления сложными системами.*** Однако для полноты и целостности методов оценки, формализации функций, контроля и управления сложными системами необходимо, чтобы все вышеуказанные этапы были реализованы на принципах мягких подходов. Рассмотрим основные принципы реализации вышеуказанных этапов на основе мягких подходов.

2. Мягкие измерения свойств сложных систем в условиях неопределенности

Отличительные свойства МИ можно кратко сформулировать в следующем виде:

1. Измерение реализуется как процесс принятия решений о значении измеряемой величины.
2. В поле решений вводится метрическое пространство возможностей или субъективных вероятностей, значения которых сопровождают измерительный результат.
3. Результат измерений может быть представлен в лингвистической форме.
4. При реализации МИ используются слабые в вычислительном отношении, богатые семантически шкалы (номинальные и порядковые).
5. Результаты МИ представляют собой совокупность альтернатив с метрологическим обоснованием и могут трактоваться как «нечеткие» измерения.
6. Результаты МИ сопровождаются специальными комплексами метрологических характеристик точности,

- надежности, достоверности, риска, и других.
7. Результатам МИ свойственны активность, интерпретируемость, мотивирующие реализацию мероприятий
 8. МИ реализуются на специальных шкалы (например, шкалах с динамическими ограничениями ШДО []), реперами которых представляют собой гипотезы о возможных значениях (градациях) измеряемого свойства.
 9. Критерии, логика и правила вывода определяются, исходя из типа измерительной задачи и условий измерений.
 10. Шкалы и модели МИ - динамические объекты и могут реформируются в процессе измерений.
 11. МИ применяются, когда нет повторяемости условий реализации измерительного эксперимента, имеются лишь отдельные факты, малые выборки экспериментальных данных.

3. Методы мягких критериев и мягкого нормирования

Мяжкими критериями назовем критерии, выраженные в вероятностном, нечетком, многоальтернативном виде совокупности критериев с соответствующей степенью их вероятности.

Практика работы со сложными системами технического и социально-экономического типов определила потребность в разработке *методов «мягкого нормирования»*. Так в работе [4] проведен подробный аналитический обзор системы нормирования труда при проектировании и изготовлении сложных технических систем на примере современных корабельных систем. В монографии на основании изучения потребностей практики создания новых образцов техники сделан вывод о необходимости разработки новых подходов к нормированию показателей производственных процессов и оценке трудоемкости

в условиях неопределенности и нестабильности экономики.

В связи с тем, что нестабильность ситуаций не позволяет заранее установить жесткие критерии и нормативы как единственно возможные (что было в плановой экономике), такие подходы и методы нормирования в отличие от существующих должны обеспечивать проверку на соответствие мягким критериям, нормирование и аудирование в условиях допусков, многоальтернативности значений критериев. На практике это позволит, например, устанавливать обоснованные сроки и цены изготовления новых изделий повышенной сложности, наукоемкости и трудоемкости, что, в свою очередь позволит избежать unplanned задержек выпуска продукции.

На рис. 1 представлен вид «мягкого» критерия проверки выборки по Фишеру.

Шкала значений критерия представляет собой трехмерную функциональную шкалу, соответствующую трем параметрам нецентрального распределения Фишера (двум параметрам формы и параметру нецентральности). Параметр нецентральности играет в мягких критериях проверки статистических гипотез ключевую роль. Он позволяет проверять многоальтернативные гипотезы и контролировать уровень ошибок 2 рода, что в классическом виде критериев отсутствует.

Можно отметить, что в целом такой вид критерия соответствует типу «мягких» функций, рассмотренных в статье ниже.

4. Моделирование на основе мягких подходов

Как показано в ряде работ [1–5] такие подходы реализуются в рамках концепций построения самоорганизующихся моделей и методов.

В условиях значительной неопределенности модель сложного объекта и среды его окружения должна изменяться в зависимости от получаемой информации и меняю-

щихся требований, ограничений, целевых функций и критериев выполняемой задачи.

Технологии моделирования при этом не имеют жесткой алгоритмической структуры и могут развиваться автономно или пользователем по мере изменения требований, ограничений или целей решаемых задач. Кроме того, получаемые решения носят характер «мягких», то есть вероятностных, нечетких, многоальтернативных оценок и моделей. Такие технологии не имеют жесткой алгоритмической структуры и могут развиваться автономно или пользователем по мере изменения требований, ограничений или целей решаемых задач.

В концептуальной форме это можно определить как изменение степени «погружения» системы модели $G^{(M)}(t)$ в систему объекта $G^{(O)}(t)$ и формально представить в виде [1] гомоморфного отображения:

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

где $G^{(O)}(t)$ – система динамического объекта $G^{(O)}(t) = Q^{(O)}(t) * R^{(O)}(t)$ со свойствами $Q^{(O)}(t)$, отношениями $R^{(O)}(t)$, меняющимися в зависимости от времени t , а $G^{(M)}(t)$ – система динамического объекта $G^{(M)}(t) = Q^{(M)}(t) * R^{(M)}(t) * L^{(M)}(t)$ со свойствами $Q^{(M)}(t)$ и отношениями $R^{(M)}(t)$ и ограничениями, допущениями, требованиями $L^{(M)}(t)$ постановки задачи, также меняющимися во времени.

Процесс целенаправленного развития модели может быть решен на основе принципов управления структурой модели и информационными технологиями на ее основе с позиций общей теории управления в условиях неопределенности.

Так, задача управления моделью объекта и информационными технологиями может быть представлена как некорректная обратная задача, при решении которой должны обеспечиваться условия существования, наблюдаемости, интерпретируемости, квази-устойчивости, квази-единственности (счетное контролируемое множество) решений.

Практическая реализация этих принципов базируется на основе решения задач мониторинга, контроля (аудита) и генерации регулирующих управляющих решений по корректировке модели и технологий. Каждая из этих задач требует своего методологического, информационно-технологического, нормативно-технического, организационного и правового обеспечения. Процесс целенаправленного развития модели может быть решен на основе принципов управления структурой модели и информационными технологиями на ее основе с позиций общей теории управления в условиях неопределенности.

Так, задача управления моделью объекта и информационными технологиями может быть представлена как некорректная обратная задача, при решении которой должны обеспечиваться условия существования, наблюдаемости, интерпретируемости, квази-устойчивости, квази-единственности (счетное контролируемое множество) решений.

Практическая реализация этих принципов базируется на основе решения задач мониторинга, контроля (аудита) и генерации регулирующих управляющих решений по корректировке модели и технологий. Каждая из этих задач требует своего методологического, информационно-технологического, нормативно-технического, организационного и правового обеспечения.

Регуляризирующий байесовский подход (РБП) [1] стал одним из успешных примеров создания платформенных решений для задач моделирования и создания развивающихся информационных технологий, а также задач мониторинга, аудита и управления ими, отражающим указанные выше требования. Необходимость контроля и обеспечения качества решений обусловило тенденцию сближения методов и технологий искусственного интеллекта (и, как его составляющей, методов мягких вычислений [3]) с методологическими принципами и алгоритмической базой теории изме-

рений. Примером тому является создание в девяностых годах прошлого столетия теории интеллектуальных измерений, байесов-

ских интеллектуальных измерений, а в 1996 г. теории мягких измерений [3].

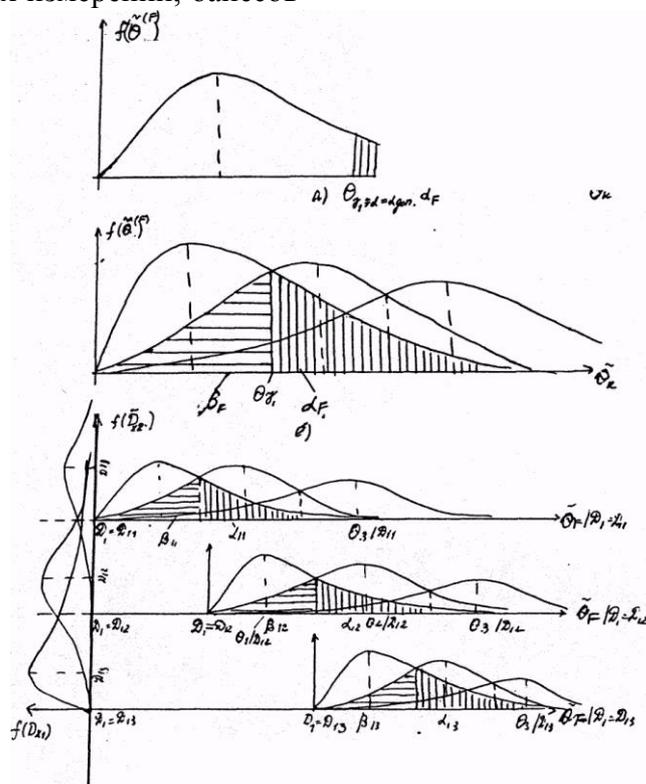


Рис. 1. Мягкий критерий Фишера

5. Мягкие функции и их применение в управлении сложными системами

Для повышения эффективности управления системами необходимо обеспечивать высокую степень формализации описания структуры, функций и свойств систем.

Формализованные модели также имеют вид «мягких» функциональных зависимостей в указанном выше смысле. Назовем их «*мягкими функциями*»

Методы определения мягких функций должны иметь вполне определенную последовательность этапов решения задач создания и развития информационных технологий обработки информационных потоков данных и знаний с целью их формализации.

Такая последовательность может быть следующей:

Этап 1. Разработка концептуальной модели сложной системы в виде иерархической структуры факторов (собственных и

внешней среды), в условиях имеющейся априорной информации, критериев и методологических, ограничений и требований

Этап 2. Сбор информации о факторах модели и их взаимосвязях.

Этап 3. Построение регуляризирующих информационных технологий оценки и измерения факторов.

Этап 4. Разработка методов контроля (аудита) факторов на соответствие установленным или определяемым в ходе решения задачи нормам и критериям.

Этап 5. Определение формализованного вида функциональных зависимостей для описания состояний, свойств, ситуаций сложных систем в их непрерывном развитии и взаимодействии.

Этап 6. Проверка адекватности полученных моделей, их соответствия имеющимся данным.

Этап 7. Интеграция полученных моделей в процесс обработки информации.

Этап 8. При реализации функций управления сложными системами необходима генерация *мягких управленческих решений, определенных в концепции мягкого управления в [5] в виде многоальтернативного управленческого решения, представляющего собой совокупность управленческих решений с различными вероятностями (возможностями) его альтернатив*

Этап 9. Выбор и реализация в процессе управления управленческого решения, единственного четкого решения из предложенных выше альтернатив.

Всем указанным этапам должны соответствовать методы и информационные технологии, имеющие «мягкие» подходы в своей основе.

На рис. 2 и 3 приведены результаты аппроксимации результатов, полученных методами РЫП в виде «мягких» функций авторегрессии третьего порядка и апостериорных распределений оценок, типовыми законами распределений из классов системы Пирсона, для чего используется математическая библиотека РБП.

Полученные модели законов распределений используются затем для интерпретации оцениваемых свойств объекта, для генерации выборок большого объема и последующей ее обработки мощными методами математической статистики, для управления качеством получаемых решений и их риском.

Для оценки параметров и показателей применяются статические и динамические параметрические оценочные шкалы с динамическими ограничениями (ШДО), вид которых представлен на рис. 1, 2, 3. Для динамических показателей реализованы динамические ШДО (рис. 2). Причем, как первый, так и второй тип шкал реализован в виде сопряженных ШДО для обработки и хранения как числовой, так и лингвистической информации.

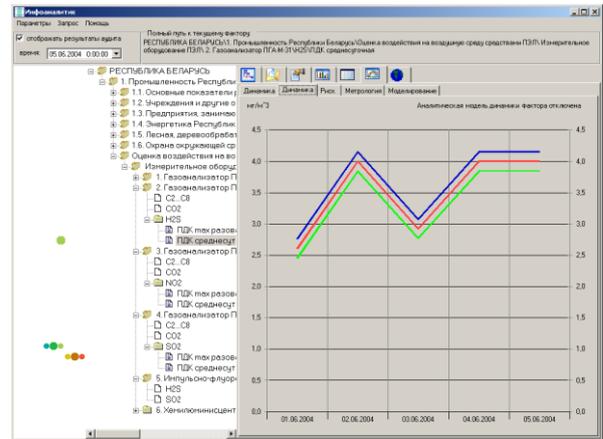


Рис. 2. «Мягкая» функция авторегрессии

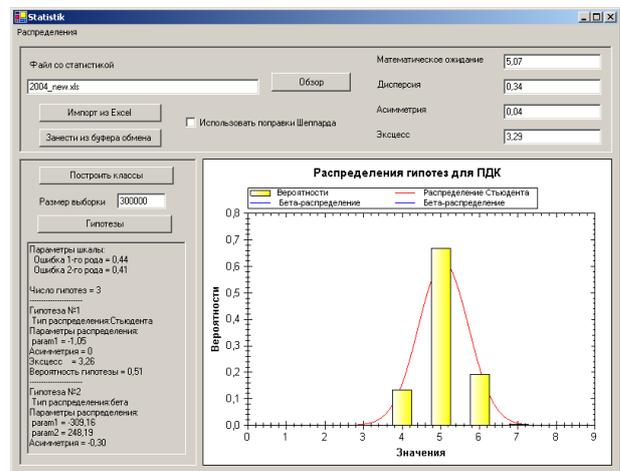


Рис. 3. «Мягкая» функция плотности распределения

Числовые ШДО имеют тип шкал отношений и обладают богатыми вычислительными возможностями. В зависимости от изменения характеристик информационных потоков меняется структура этих шкал.

Для функциональных преобразований созданы функциональные ШДО, теория построения которых приведена в [1].

Задачи нормирования, критериального выбора и аудита производятся на критериальных шкалах. Вид такой шкалы приведен на рисунке 4. При смене критериальной базы или изменении свойств контролируемого объекта, когда меняется норма показателей его свойств, шкала настраивается на новые значения норм автоматически или пользователем. Таким образом, может контролироваться динамика норм и критериев. Кроме того, эти шкалы могут быть сопряженными для реализации контроля одного

и того же показателя по множеству различных критериев.

Критериальные шкалы могут быть полезны в задачах контроля (экологического, энергетического, технического и других) для установления предупреждающих границ при вероятностном представлении контролируемого показателя. Например, существует практически важная задача оценки вероятности превышения значений контролируемого параметра допустимого предела и в соответствии с этим изменения предупреждающих границ контроля. На основе БИТ на функциональных ШДО в режиме мониторинга определяется изменение закона распределения параметра, например, в следствии изменения технологического оборудования, режимов производства, материала заготовок. По результатам оценки закона распределения параметра принимаются решения об изменении предупреждающего значения на критериальной шкале БИТ, что предупреждает появление брака, экологических или энергетических рисков. Подробнее механизм реализации этого подхода рассмотрен в [3].

6. СПШУР «Бизнес-навигатор»

Примером реализации на практике мягких подходов к управлению предприятиями является измерительно-аналитический программный комплекс «БИЗНЕС-НАВИГАТОР», предназначенный для управления бизнес-процессами предприятий и его деятельностью в целом, В состав

АПК «Навигатор Директора» входят подсистемы на основе ИРМ для бюджетирования, управления производством, генерации оптимальных бизнес-решений, стратегического планирования и управления проектами, госконтрактами на основе международных стандартов серии ISO, а также российских аналогов (ИРМ – «анализ баланса», ИРМ – «исполнение контрактов», ИРМ – «формирование цен», ИРМ – энергетик, ИРМ – кадры, ИРМ – библиотека, ИРМ – экология).

АПК «Бизнес-навигатор» обеспечивает эффективный производственный, инвестиционный, финансовый, энергетический, экологический менеджмент, руководство персоналом, управление рисками и потенциалами бизнеса, формирование цены на продукцию гражданского и оборонного назначения при обосновании, размещении и исполнении государственных оборонных заказов.

Базовой платформой АПК «Бизнес-навигатор» является лицензированный ПК «Инфоаналитик», обеспечивающий решение задач в условиях значительной неопределенности и нестабильности бизнес-систем.

ПК «Инфоаналитик» интегрирован с рядом прикладных подсистем, (подсистемы конвертирования, вычисления функций, геоинформационные системы, базы прикладных знаний) представляющих собой интеллектуальные рабочие места (ИРМ) для специалистов различных направлений бизнес-деятельности.

Литература

1. Недосекин Д.Д., Прокопчина С.В., Чернявский Е.А. Информационные технологии интеллектуализации измерительных процессов. СПб.: Энергоатомиздат, 1995.
- 2 Прокопчина С.В. Методологические аспекты теории мягких измерений Сб. докл. Междунар. конф. "SCM-2009", СПб.: С. 49–63.
- 3 Управление в условиях неопределенности. Под ред. С. В. Прокопчиной, М. Ю. Шестопалава, изд., ЛЭТИ, СПб. 2014. 375 с.
- 4 Опыт решения социально-экономических задач на основе БИТ / под ред Прокопчиной С.В. М. 2014. 447 с.
- 5 Прокопчина С. В. Принципы мягкого аудита и мягкого управления. сложными системами. М. 2010.