

Академия наук Украины
Институт кибернетики имени В. М. Глушкова

На правах рукописи

ЕРЕМЕЕВ Игорь Семенович

УДК 538.1:621.039:681.3:311.214

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ
ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

05.13.16 — применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Киев 1992

ТВ 26.37

Работа выполнена в Институте ядерных исследований АН Украины.

Официальные оппоненты: член-корреспондент АН Украины, доктор технических наук

МОРОЗОВ А. А.,

ЛНБ України ім.В.Стефаника

-корреспондент АН Украины,



доктор физико-математических наук
САМОЙЛЕНКО Ю. И.,

00825676 (Y)

доктор технических наук,
профессор ТУНИК А. А.

Ведущая организация: НПО «Киевский институт автоматики».

Защита состоится «—» ————— 19 г. в ————— часов на заседании специализированного совета Д 016.45.03 при Институте кибернетики имени В. М. Глушкова АН Украины по адресу:

252207 Киев 207, проспект Академика Глушкова, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-техническом архиве института.



Автореферат разослан «5» *август* 1993 г.

Ученый секретарь специализированного совета

РЫБАК В. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Деятельность человека, направленная на добычу различных видов топлива, сырья, строительных и других материалов и их последующее использование с целью генерирования энергии и производства той или иной продукции, неизбежно связана с загрязнением окружающей среды (ОС) как за счет частичного рассеивания исходных материалов, так и за счет выбросов и сбросов продуктов сгорания (распада) топлива, промежуточных продуктов и промышленных отходов. В последние десятилетия загрязнение ОС достигло таких размеров, что под угрозой оказалось существование человечества. Все это сделало контроль за состоянием промышленных объектов (ПО) — потенциальных источников загрязнения ОС, а также мониторинг состояния ОС задачей первостепенной важности. Проблема мониторинга имеет три аспекта:

периодический контроль ОС в условиях нормальной эксплуатации ПО с целью объективного подтверждения безопасных для населения и ОС уровней загрязнения (З), а также выявление аномалий и трендов З, используемых при оценке дальнейшего экономического развития региона;

оперативный контроль за развитием обстановки в аномальных и аварийных ситуациях с целью оценки масштабов выбросов (сбросов) З и предсказания их последствий для окрестностей ПО и региона в целом (с учетом гидрометеорологических и других факторов, влияющих на протекание процессов распространения З в ОС);

контроль за обстановкой в послеаварийный период с целью выявления эффективности проводимых мер, направленных на минимизацию последствий аварий, прогнозирования границ и сроков нормализации обстановки, а также уточнения моделей распространения З и моделей возникновения и развития аномалий и аварий.

В ходе выполнения перечисленных выше задач возможны си

туации, требующие принятия ответственных решений, последствия которых могут иметь громадное экономическое и даже политическое значение. Такие решения нуждаются в адекватном информационном обеспечении, в частности в гарантированной достоверности данных, на основе которых принимаются решения. До последнего времени такую достоверность пытались обеспечить за счет повышения надежности функционирования (отказоустойчивости) программно-аппаратных комплексов (в частности, за счет введения проектной избыточности), повышения точности источников информации, использования средств борьбы с помехами и шумами, использования систем встроенного контроля и оперативной диагностики состояния технических средств. Однако все эти меры хотя и способствовали повышению достоверности данных мониторинга, однако не решали полностью поставленную задачу, особенно в условиях медленной деградации характеристик систем, большой размерности объекта контроля, слабой наблюдаемости протекающих в ОС процессов, сложной и не до конца определенной зависимости условий протекания процессов от множества взаимозависимых и спонтанно изменяющихся факторов, информация о которых часто может быть отнесена к категории нечетких множеств, а сами модели процессов носят эмпирический и полумпирический характер и в силу этого составляют некоторое множество моделей, каждая из которых в конкретных условиях состояния ОС может оказаться оптимальной. В связи со всем сказанным выше исследованием, направленные на создание методов повышения достоверности информации при оценке состояния ОС, представляются актуальными и экономически обоснованными.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является создание общей методологии оценки и повышения достоверности данных как на этапе их получения непосредственно на объекте контроля, так и на этапе оценки этих данных на основе анализа информации от других источников, предистории и априорной информации об объекте контроля, а также на конечном этапе общей оценки ситуации и информационного обеспечения принятия ответственных

решений.

В работе использованы методы теории нечетких множеств, теории размерностей и теорий особенностей, катастроф и фракталов, предоставляющие эффективные возможности для оперирования как нечетко определенными данными и моделями, так и в ситуациях (обусловленных наличием существенных неоднородностей в окружающей среде либо дефектами во внутренних структурах систем контроля), которые могут быть отнесены к категории катастроф. Класс объектов, к которым в первую очередь применима предлагаемая методология, включает в себя сложные объекты с распределенными и слабо наблюдаемыми параметрами, а также объекты, характеристики которых в процессе жизненного цикла могут существенно и непредсказуемо изменяться под воздействием различных, часто неконтролируемых, факторов.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе были решены следующие задачи:

проведен анализ источников и причин недостоверности информации о состоянии окружающей среды;

сформулированы основные пути повышения достоверности, использующие принципы структурной, процедурной и информационной избыточности;

разработан метод повышения достоверности результатов оценки состояния окружающей среды, а также идентификации этого состояния и состояния отдельных компонентов и систем оценки в целом, основанный на использовании результатов теории нечетких множеств и теории размерностей;

разработан метод повышения достоверности результатов моделирования объектов (процессов) в условиях внешних возмущений и дефектов (декомпозиции) структур, основанный на использовании результатов теории катастроф;

разработаны алгоритмы оценки и повышения достоверности данных, использующие предложенные методы, а также некоторые результаты теории фракталов.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертации впервые сформулирован достаточно универсальный подход, позволяющий в условиях неопределенности, нечеткости и неполноты исходных данных обеспечить качественной информацией процесс принятия ответственных решений, связанных с ухудшением состояния окружающей среды в результате аварий на промышленных объектах.

В рамках выполненного исследования предложен также метод, позволяющий более детально и точно прогнозировать развитие ситуации или поведение отдельной подсистемы при дефектах (вариациях) в моделях процессов (объектов). Разработаны оригинальные методы и соответствующие алгоритмы повышения достоверности результатов измерения и обработки данных.

Предложенный подход позволяет обеспечить длительное функционирование необслуживаемых узлов сети измерительного мониторинга окружающей среды сначала с паспортными характеристиками, а затем с ухудшенными, но оцененными.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом работ ИЯИ АН Украины по темам:

"Определение методик и концепции создания региональной автоматизированной системы контроля радиационной безопасности группы АЭС" (задание 41.01.02.02 программы ГКНТ Щ.80.02);

"Разработка и исследование методов и средств идентификации безопасности АЭС";

"Противоаварийные пункты управления АС" (договор между ИЯИ АН Украины и Киевским отделением АТЭП № 76/89);

"Разработка автоматического поста контроля радиационной обстановки в зоне наблюдения ЧАЭС I-й очереди измерительно-информационной системы АСКРО" (договор между ПО "Комбинат" и НТЦ "Атом" ИЯИ АН Украины № 12/89).

Результаты, представленные в диссертационной работе использованы:

Киевским отделением ин-та АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ при разработ-

ке типовых проектов противоаварийных пунктов управления на действующих и строящихся АЭС;

По "Комбинат" при модификации АСКРО Чернобыльской АЭС.

Апробация работы

Основные положения и результаты, представленные в диссертационной работе, докладывались:

на международной конференции "Нечеткие множества в информатике" (Москва, 20-23 сентября 1988);

на V Всесоюзном семинаре "Автоматизация исследований в ядерной физике и смежных областях" (Ташкент, 15-17 ноября 1988);

на Всесоюзной конференции "Примеси-трассеры атмосферных процессов" (Паланга, 11-13 мая 1989);

на I Всесоюзной школе-семинаре по интеллектуализации обработки естественнонаучной информации (Севастополь, 25-29 сентября 1989);

на межотраслевом научно-техническом семинаре "Разработка архитектуры и программного обеспечения вычислительных систем обработки информации в реальном времени" (Усть-Нарва, 16-18 апреля 1991);

на республиканском семинаре "Предсказание и математическое моделирование катастрофических явлений и их последствий" (Киев, 15-17 июня 1991);

на V Всесоюзной конференции "Математические методы распознавания образов" (Москва, ноябрь 1991).

Основные положения диссертации представлялись также полностью или фрагментарно в виде докладов и сообщений на семинарах в ИИИ АН Украины, Институте кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, Союзном НИИ приборостроения (Москва), Центральном институте физических исследований Венгерской академии наук (Будапешт), городском семинаре "Техническая диагностика и эксплуатация вычислительных и управляемых систем" (Киев), конференциях по применению микропроцессоров в народном хозяйстве (Одесса, Севастополь), на конференции "Киев - город экологического бедствия" (Киев).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений, изложена на 367 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц и 40 рисунков. Библиография включает 180 наименований.

Содержание диссертационной работы

В в е д е н и е содержит обоснование актуальности темы диссертации, формулировку цели работы, освещение научной новизны и практической значимости.

В п е р в о й г л а в е проанализированы проблемы наблюдаемости и идентификации состояний ОС. Сформулировано понятие д о с т о в е р н о с т и , под которой подразумевается степень близости модельных оценок (прогнозов) значений сигналов (параметров, состояний) или их распределений истинным значениям, причем под модельными оценками подразумеваются не только результаты собственно моделирования, но и данные измерений с помощью обычных (не эталонных или неповеренных) средств, в то время как в качестве истинных значений рассматриваются результаты измерений с помощью средств (и методик), качество информации на выходе которых гарантировано. Определены основные факторы, влияющие на снижение достоверности: неполнота исходных данных, нечеткость (размытость) информации и ограничение класса допустимых (реализуемых) алгоритмов.

Неполнота исходных данных, являющаяся следствием ограниченной наблюдаемости объектов контроля и недостатка информации о факторах, влияющих на процесс в ОС, означает, что если

$$V(N, f) = \{ \tilde{f} \in F : N(\tilde{f}) = N(f) \} \quad -$$

множество всех элементов \tilde{f} , неотличимых от элемента f с помощью информации N , то знание $N(f)$ не позволяет указать, какое из множеств $S(\tilde{f}, \epsilon)$, $\tilde{f} \in V(N, f)$ дает нужное ϵ -приближение.

Нечеткость (размытость) информации, являющаяся следствием ограниченной точности измерений и оценок, а также представления и обработки данных, сбоев и отказов технических средств, помех в каналах связи, дрейфа параметров аппаратуры и измеряемых параметров и т.п. означает, что если

$$V(N_\rho, f) = \{\tilde{f} \in F: N_\rho(\tilde{f}) \in E(N(f), \rho)\} -$$

множество элементов \tilde{f} , для которых $N_\rho(\tilde{f})$ может служить нечеткой (приближенной) информацией и выполняется условие

$$N_\rho(\tilde{f}) \in E(N(f), \rho) \text{ для всех } \tilde{f} \in F,$$

причем E - оператор информационной нечеткости, ρ - мера нечеткости информации, а $E(N(f), \rho)$ - множество, представляющее нечеткую информацию об f ; то знание только $N_\rho(f)$ не позволяет сказать, какое из множеств

$$S(\tilde{f}, \epsilon), \tilde{f} \in V(N_\rho, f)$$

дает ϵ -приближение.

Ограничение класса допустимых или реализуемых (для решения данной конкретной задачи в конкретных условиях) алгоритмов, связанных обычно с временем решения, его (решения) устойчивостью или корректностью, означает, что если

$$Q(h) = \{\varphi(h): \varphi \in R\} -$$

множество результатов применения к $h = N_\rho(f)$ всех алгоритмов φ из класса R реализуемых алгоритмов, то знание только $N_\rho(f)$ не позволяет определить, какой (или какие) из алгоритмов множества R обеспечит решение задачи в условиях принятых (существующих) ограничений.

Рассмотрены основные источники недоверности данных об ОС:

детекторы загрязнений ОС, входящие в состав необслуживаемых постов контроля состояния ОС (узлов сети измерительного мониторинга (СИМ));

конфигурация и плотность СИМ;

модели процессов распространения загрязнений (используемые для решения задач модельного мониторинга [ММ], в частности прогнозирования или оперативного оценивания последствий аномальных и аварийных выбросов загрязнений);

интерфейс между человеком и системой;

центральная система гибридного мониторинга состояния ОС (т.е. мониторинга, сочетающего данные СИМ и ММ).

Показано, что особое место в проблеме обеспечения достоверности данных о состоянии ОС занимают модели. Поскольку процессы переноса загрязнений в атмосфере зависят от большого числа факторов, многие из которых являются неконтролируемыми и непредсказуемыми, создание точных моделей при нынешних знаниях о процессах, протекающих в приземном слое атмосферы, а также при существующем уровне наблюдаемости этих процессов не представляется возможным. В существующей практике вместо точных моделей используются их весьма грубые приближения, имеющие характер эмпирических или полумпирических зависимостей. Таких моделей существует несколько десятков, причем к ним, как правило, не применимы абсолютные критерии адекватности: каждая из моделей в определенных условиях может оказаться наиболее подходящей для адекватного описания процесса.

Не менее важную роль играют модели поведения технических средств и оператора, а также модели состояний технических и программных средств систем. В процессе эксплуатации систем эти состояния (или поведение) могут произвольно изменяться и, таким образом, существует множество возможных состояний (поведений) и соответствующих им моделей, каждая из которых в определенных условиях может адекватно описывать то или иное конкретное состояние (или поведение) моделируемого объекта (процесса).

Поэтому проблема формирования множества моделей и последующего выбора оптимальной модели становится адекватной проблеме обеспечения достоверности данных.

Во второй главе рассмотрены проблемы

повышения достоверности данных в условиях действия факторов, объективно влияющих на снижение качества информации.

В случае неполноты или нечеткости исходных данных, когда требуется дополнительная информация, нужное ϵ -приближение может быть найдено лишь при условии, что пересечение множеств

$$S(\tilde{f}_1, \epsilon)$$

непусто, т.е.

$$A(N, f, \epsilon) = \bigcap_{\tilde{f} \in V(N, f)} S(\tilde{f}_1, \epsilon) \neq \emptyset \dots \quad (1)$$

При этом минимальный объем информации, требуемой для решения конкретной задачи с предписанной степенью достоверности, может быть представлен в виде

$$r(N) = \inf\{\epsilon : A(N, f, \epsilon) \neq \emptyset, \forall f \in F\}.$$

Здесь в случае нечеткости исходных данных вместо N используется N_ρ .

При ограничении класса реализуемых алгоритмов ϵ -приближение может быть найдено при условии непустоты пересечения множества

$$A(N_\rho, f, \epsilon) \cap Q(h) \neq \emptyset, \quad (2)$$

причем алгоритм вычисления ϵ -приближения для произвольного f по информации N_ρ существует только в случае, когда

$$r(R, N_\rho) = \sup_{f \in F} r(R, N_\rho, f) \leq \epsilon,$$

где

$$r(R, N_\rho, f) = \inf\{\epsilon : A(N_\rho, f, \epsilon) \cap Q[N_\rho(f)] \neq \emptyset\}.$$

Алгоритмы (1) и (2), фактически реализующие теоретико-множественную операцию пересечения, показывают, что повышение достоверности информации возможно лишь за счет использования избыточности (структурной, процедурной, информационной). Действительно в данном случае результат может быть достигнут либо при выполнении операции одновременно над всеми множествами, формируемыми параллельными структурами на основе стандартного набора исходных данных (структурная избыточность), либо при последовательном выполнении одной и той же процедуры над

каждой парой множеств, формируемых одной структурой на основе стандартного набора исходных данных (процедурная избыточность), либо, наконец, при сочетании первых двух подходов и использовании дополнительных структур или процедур, обеспечивающих формирование новых множеств на основе всей доступной релевантной информации (либо корректировке существующих), а также результатов ее структурирования и других видов обработки (информационная избыточность).

С учетом сказанного разработан ряд алгоритмов повышения достоверности измерений, оптимизации процедуры обработки результатов измерений, обеспечения достоверности результатов обработки данных в автономном посту контроля и в центральной системе сбора и обработки информации о состоянии ОС.

В третьей главе рассмотрен оригинальный подход к обеспечению достоверности данных, опирающийся на результаты теории нечетких множеств и использующий принцип введения информационной избыточности. В основе подхода лежит так называемый метод эталонов, сущность которого заключается в том, что содержащаяся в эталоне (эталонах) информация определенного типа служит для оценки аналогичной информации в другом объекте, причем эта оценка может быть представлена в виде некоторого отношения индивидуального предпочтения.

Задача идентификации при подобном подходе сводится к анализу наблюдений и сопоставлению их результатов с некоторыми эталонами: если мера несоответствия реальных результатов и эталона не превышает некоторого порога, задача идентификации считается решенной. Сформулирован ряд определений и лемм, позволяющих доказать теоремы идентификации.

О п р е д е л е н и е 1 . Система множеств σ считается вписанной в систему множеств $\sigma^{(I)}$, если каждый элемент системы σ является подмножеством хотя бы одного элемента системы $\sigma^{(I)}$. Это следование (вписывание) превращает любое множество систем, состоящих из подмножеств данного множества, в частично упорядоченное множество.

Предложение 1. Система $\sigma^{(I)}$ комбинаторно вписана в систему σ , если элементы обеих систем можно таким образом поставить во взаимно однозначное соответствие, что каждый элемент системы $\sigma^{(I)}$ содержится в соответствующем ему элементе системы σ . Если обе эти системы $\sigma^{(I)}$ и σ конечны, то комбинаторная вписанность системы $\sigma^{(I)}$ в систему σ означает, что обе системы состоят из одного и того же числа элементов S и что элементы обеих систем можно так занумеровать

$$\sigma = \{A_1, \dots, A_S\},$$

$$\sigma^{(I)} = \{A_1^{(I)}, \dots, A_S^{(I)}\},$$

что $A_1^{(I)} \subset A_1, \dots, A_S^{(I)} \subset A_S$

Определение 2. Системы вписанных множеств σ и $\sigma^{(I)}$ называются подобными между собой, если между ними можно установить такое взаимно однозначное соответствие, что из того, что какие-нибудь, взятые в конечном числе, множества одной системы имеют непустое пересечение, следует, что соответствующие множества другой системы также имеют непустое пересечение.

Определение 3. Системой, сохраняющей тождественность самой себе, считается такая система, у которой первичные характеристики (т.е. характеристики, совокупность которых идентифицирует систему) известны и параметрически инвариантны.

Определение 4. Процедура замены множества подобных систем

$$\sigma^{(I)} = \{A_1^{(I)}, \dots, A_S^{(I)}\}, \dots, \sigma^{(k)} = \{A_1^{(k)}, \dots, A_S^{(k)}\},$$

таких, что $A_1^{(j)} \subset A_1$ ($j \in k$), характеристики которых обладают локальной параметрической инвариантностью, т.е. не полностью характеризуют переменные (и порождают их состояния) на всем параметрическом множестве, единой обобщенной системой (эталоном), связанная с порождением

последовательности исходных подобных систем при определенных значениях параметра, вычисляемого этой процедурой и соответствующего некоторому подмножеству параметрического множества, называется эффективной процедурой генерирования метасистемы.

Л е м м а 1 . Пусть существуют два подобных распределения элементов множеств

$$f^{(1)} = \{x_i^{(j)} \mid i \in N, j = [1, 2]\} \in F,$$

где F - множество всех возможных распределений, имеющих по крайней мере одно ненулевое значение, таких, что

$$f^{(1)} \leq f^{(2)},$$

и статистики этих распределений известны, тогда приращение информации $d(f^{(1)}, f^{(2)})$, получаемое при замене $f^{(2)}$ на $f^{(1)}$ и характеризующее величину отличия этих распределений друг от друга, в точности равно нулю тогда и только тогда, когда $f^{(1)} = f^{(2)}$ для всех $x \in X$. В качестве меры приращения информации может использоваться метрика, характеризующая степень близости распределений, либо дополнение (до единицы) функции принадлежности.

Л е м м а 2 . Если существуют два подобных распределения элементов множеств $f^{(1)}$ и $f^{(2)}$ и одно из них, например $f^{(1)}$, имеет известную статистику, распределение $f^{(1)}$ можно принять в качестве эталона, у которого в качестве элементов $x_i^{(1)}$ используются их математические ожидания $E\{x_i^{(1)}\}$, и приращение информации, получаемое при замене $f^{(2)}$ на $f^{(1)}$, может рассматриваться как несущественное, а сами распределения - как неразличимые (идентичные) тогда и только тогда, когда статистика $f^{(1)}$ поглощает статистику $f^{(2)}$.

Л е м м а 3 . Если существует множество подобных распределений элементов множеств

$$f^{(i)} \in F \mid i \in K$$

и статистика $\epsilon^{(1)}$ одного из них, например $f^{(1)}$, известна, что позволяет использовать $f^{(1)}$ в качестве эталона, то всегда существует возможность выделения из остального множества распределений $f^{(1)}$ такого распределения $f^{(m)}$, у которого приращение информации при замене $f^{(m)}$ на $f^{(1)}$ будет минимально, что позволяет утверждать, что это распределение в наибольшей степени приближено к $f^{(1)}$ и, в случае выполнения условия леммы 2, неотлично от последнего.

Т е о р е м а 1. Если для двух или большего числа подобных систем не существует эффективной процедуры генерирования метасистемы, то такие системы идентичны.

Доказательство теоремы вытекает из определений 1-4 и лемм 1 и 2.

Т е о р е м а 2. Если для двух или большего числа подобных систем существует эффективная процедура генерирования метасистемы (эталона), то та из систем, функция расстояния которой до эталона (или дополнение функции принадлежности) минимальна и при этом не превышает величины стандартного отклонения, присущего процедурам, связанным с определением первичной характеристики, идентична эталону.

Доказательство теоремы вытекает из определений 3 и 4 и лемм 2 и 3.

Практическая реализация следствий теорем идентификации осуществляется следующим образом. Как уже было отмечено выше, поведение объекта (процесса, системы) может быть описано множеством альтернативных моделей, каждая из которых при определенных, но, как правило, трудно идентифицируемых условиях может оказаться по тем или иным соображениям предпочтительной.

В подобных обстоятельствах можно прибегнуть к экспертной оценке результатов сопоставления некоторого нечеткого множества $x^{(1)} \in X$, каковым являются фактически

измеренные данные о состоянии контролируемого объекта (процесса), с рядом эталонов $y^{(1)} \in Y$, в качестве которого могут быть использованы результаты моделирования с помощью ряда альтернативных моделей. Для этого, конечно, необходимо первоначально определить структуру сформированного множества эталонов Y , характеризуемую тем или иным эталонным отношением. Затем выбирается тип отношения между двумя множествами X и Y и способ его оценки. Наконец, определяется на X отношение, индуцированное эталонным отношением, и формируется решающее правило.

Вся процедура в целом осуществляется в такой последовательности:

формируется множество $SM = \{sm_{(k)}\}$ альтернативных моделей, о которых известно, что для каждого конкретного случая возможен выбор оптимальной модели $sm_{opt} \in SM$;

одновременно или последовательно экстраполируются (с помощью K моделей) данные, характеризующие состояние контролируемого объекта (процесса) в тех точках $1 \in I$, где может быть затем (по истечении интервала экстраполяции) определено (измерено) фактическое состояние объекта (процесса); полученные распределения сглаживаются с помощью одного и того же алгоритма сглаживания и формируются эталонные множества

$$x_{smk} = \{x_{smk1}\}, k \in K;$$

производится измерение реального состояния объекта (процесса) в точках $1 \in I$; полученное распределение сглаживается с помощью алгоритма, использованного ранее при формировании x_{smk} , и формируется нечеткое множество $x(r) = \{x(r1)\}$;

используется в качестве отношения на $x(r)$ и x_{smk} одно и то же отношение упорядоченности $S\{x(1)\}$, вытекающее из одинаковой для обоих множеств процедуры построения сглаженных (плоских или пространственных) кривых по точечным значениям x_{smk1} и $x(r1)$;

принимается в качестве отношения на $S\{x(r)\}$ в $S\{x_{smk}\}$ нечеткая совокупность K упорядоченных пар плоских

или пространственных кривых экстраполированного (с помощью K моделей) и фактического распределения интересующих состояний (параметров), характеризуемая функцией принадлежности

$$d^{(k)} = d(x(r_1); x(sm_k)), \quad k, K,$$

или обратной ей величиной - метрикой

$$d^{(k)} = \{[(n-1)^{-1}] \sum_{i=1}^I |x(r_1) - x(sm_k)|^2\}^{1/2};$$

определяется метрика, соответствующая оптимальной модели sm_{opt} , например с помощью процедуры

$$d_{opt}^{(k)} = \min(d^{(1)}, \dots, d^{(K)});$$

полученная метрика $d_{opt}^{(k)}$ соотносится с предельно допустимой мерой несоответствия эталону d_{max} , например с помощью неравенства

$$d_{opt}^{(k)} \leq d_{max}; \quad (3)$$

в случае неудовлетворения неравенства (3) определяется принадлежность отдельных элементов нечеткого множества к некоторому упорядоченному ансамблю элементов нечеткого множества, например ансамблю точек, характеризуемому значениями

$$\sup |x_{r_1} - x_{sm_k}| \leq p \cdot d_{opt}^{(k)}, \quad (4)$$

где $p > 1$ - коэффициент, пропорциональный величине доверительного интервала;

построение на основе анализа результатов сопоставлений (3) и (4) решающего правила.

Подобный подход применим в двух случаях:

когда вместо одной точной модели объекта (процесса) используется множество эмпирических или полумэмпирических моделей, каждая из которых может наилучшим образом описывать объект (процесс) лишь при определенном наборе внешних факторов, причем этот набор трудно идентифицируем и не поддается прогнозированию;

когда существует множество точных или квазитоных моделей, адекватно описывающих поведение объекта при его

различных внутренних состояниях, в условиях невозможности или затруднительности оперативной идентификации этих состояний.

В обоих случаях необходимым условием применения предлагаемого подхода является выполнение неравенства

$$t_m < \tau$$

где t_m - время, необходимое для формирования эталонных множеств (т.е. для получения результатов моделирования с использованием альтернативных моделей и их сглаживания), τ - время транспортного запаздывания и/или время, в течение которого затухают переходные процессы в системе и осуществляется формирование нечеткого множества данных фактических измерений. Для случая процедурной избыточности величина t_m представляется как сумма ресурсов, необходимых для формирования каждого из альтернативных эталонных множеств, т.е.

$$t_m = \sum_{k=1}^K t_{mk}$$

При использовании принципа структурной избыточности

$$t_m = \max\{t_{m1}, \dots, t_{mK}\}$$

Дополнительным условием эффективности предлагаемого подхода является использование представительного объема I нечеткого множества и, соответственно, объемов эталонных множеств, что возможно лишь при наличии достаточной априорной информации об объекте (процессе).

Существенную помощь в повышении достоверности данных о фактическом состоянии ОС при формировании нечеткого множества может оказать организация информационных фреймов, включающих помимо исходной информации также предысторию, косвенные и сопутствующие данные, в том числе информацию о корреляционных связях между отдельными элементами фрейма, интерполяционные или экстраполяционные зависимости между ними и т.п. При этом формируется логико-алгебраическое уравнение, устанавливающее те или иные зависимости в терминах булевой (BOOL) или многозначной (MULL) логики между элементами фрейма или результатами математической обработки

данных, относящихся к этим элементам фрейма, и непосредственно характеризующее (в относительных единицах в шкале $\{0, 1\}$) степень достоверности информации :

$$C(A(N, f, \epsilon)) = \max_{j \in J} \{ \text{MULL}(\text{MATH}(FR(1), \dots, FR(k))) \} .$$

Здесь J - множество всех используемых типов логических операций MULL; I - множество всех используемых типов математических операций MATH; $FR(m)$ - m -й элемент фрейма (данные, зависимости), $m \in M$; M - множество всех элементов фрейма, причем $k \leq M$.

Поскольку данные, вводимые во фрейм, могут искажаться под воздействием случайных помех (шумов), а зависимости между элементами фрейма часто носят стохастический характер, оценка достоверности информации также может быть выражена в терминах теории вероятностей, особенно если возможны альтернативные оценки. При этом степень подтверждения гипотезы h по наблюдению e представляется в виде

$CF(h, e) = \{p(h|e) - p(h)\} / \{1 - p(h)\} - \{p(h) - p(h|e)\} / p(h)$, где $p(h|e)$ - условная вероятность h при известном e , а $p(h)$ - экспертная оценка вероятности h в некоторый заданный момент времени при известных сопутствующих факторах.

На основе предложенного подхода разработан ряд алгоритмов для решения задач, релевантных проблемам наблюдаемости и идентификации состояний ОС.

Ч е т в е р т а я г л а в а посвящена проблемам обнаружения изменений свойств сигналов и динамических систем (разладок). Контроль за состоянием объектов (процессов), своевременное обнаружение изменений их свойств, идентификация ситуаций или причин их возникновения позволяют повысить достоверность информации, поступающей от этих объектов (процессов), и тем самым способствуют принятию оптимальных (или хотя бы в принципе верных) решений.

Для обнаружения разладок обычно прибегают к

моделированию (с помощью детерминированных или вероятностных моделей) способа воздействия разладок на наблюдаемые сигналы. Это моделирование в ряде случаев может оказаться непосредственным, т.е. проявляющимся в смещении выходного сигнала, и тогда все внимание уделяется построению решающего правила. Однако чаще всего воздействие на наблюдаемые переменные осуществляется косвенно, через резкое изменение динамики системы. И тогда особое внимание уделяется выявлению влияния изменения динамики на наблюдаемые переменные и определению решения и решающих правил.

Оперативное обнаружение разладок дает возможность своевременно корректировать параметры используемой модели или переходить к другой модели, генерировать сигналы тревоги и/или меню реакций на эти изменения, инициировать диагностические процедуры и процедуры идентификации. Решение задачи оперативного обнаружения разладок возможно лишь тогда, когда выбрана база - некоторое существенное свойство (эталон), используемое для определения различий в наблюдениях одного и того же свойства. В качестве такой базы могут быть использованы время, пространство, группа или их комбинации.

Сформулированы условия, при выполнении которых выбранный эталон может быть эффективно использован для обнаружения разладок. Этот эталон, не будучи обязательно изоморфным с реальным объектом (системой), должен быть связан с последним двумя гомоморфными отношениями (одно из них связано с входными, а другое - с выходными переменными) и изоморфным отношением между параметрами выбранного эталона и реального объекта. Наличие эталона (или ряда эталонов), реакция которого (которых) на управляющие и/или возмущающие воздействия сравнивается с реакцией реального объекта с целью выявления изменений в последнем, наводит на мысль о прозрачности аналогии этой процедуры и процедуры, лежащей в основе изложенного в предыдущей главе метода эталонов. При этом возможно использование как многомодельного (многоэталонного) подхода, когда составляется банк из N

фильтров Калмана, соответствующих каждой из N возможных (эталонных) ситуаций, так и одномодельного, когда используется только модель нормального поведения. Наряду с этим возможно применение так называемого метода обобщенного отношения подобия, требующего использовать также всего одну модель (нормального поведения), но связанного с использованием значительной процедурной избыточности.

Разработан алгоритм обнаружения разладки, опирающийся на предложенный подход.

В пятой главе рассмотрен подход к повышению достоверности данных моделирования, основанный на использовании результатов теорий особенностей, катастроф и фракталов. Дело в том, что потенциальная кривая, описывающая состояние объекта (процесса, системы) при известных входных параметрах, на практике из-за неполноты информации или по иным причинам представляется в приближенном виде. Однако появление возмущения или "дефекта" может привести к тому, что те факторы, которые ранее не учитывались, поскольку в "нормальных" условиях их влияние не проявлялось, обусловят резкие изменения в распределении интересующих параметров. При этом в простейшем случае поведение системы (объекта) в окрестностях критических точек (КТ) может быть описано, например, в виде

$$F(x, a) = x^{(n+1)} + \sum_{j=1}^{n-1} p_j x^j, \quad (5)$$

где первый член правой части представляет собой "росток катастрофы" (т.е. тот компонент описания объекта или системы, которым в свое время пренебрегли и который и определяет свойства функции в окрестностях КТ), а второй - "возмущение катастрофы", причем здесь n - кратность КТ и a - управляющий параметр.

Методы теории катастроф применимы, если потенциальная кривая (или поверхность), описывающая распределение тех или иных интересующих параметров в заданном ограниченном пространстве состояний, обладает по крайней мере одним из следующих признаков:

модальностью, т.е. наличием более одного различного состояния (например, максимума или минимума);

катастрофическими скачками, когда малые приращения одной из координат приводят к существенным изменениям переменных состояния;

аномальной дисперсией в окрестностях КТ.

Все это как раз и имеет место при решении задач мониторинга ОС. Дело в том, что модели распространения загрязнений рассчитаны в основном на идеализированную среду, в которой протекают процессы переноса загрязнений: гладкую равнину (безлесную или равномерно покрытую лесом); равнину, граничащую с морем или озером и т.п. На практике же имеет место большее разнообразие, причем на эту среду оказывают воздействие такие факторы, как условия устойчивости атмосферы, направление ветра и др. Горы, холмы, овраги, высокие технические сооружения деформируют воздушные потоки в горизонтальной плоскости распространения загрязнений, а восходящие и нисходящие потоки воздуха в окрестностях больших водных и лесных массивов искажают протекание процессов в вертикальном направлении. Точно так же влияют на вертикальный профиль ветра такие источники возмущения, как градирня, пожар в окрестностях промышленного объекта и т.п. Поэтому реальное распределение загрязнений ОС в окрестностях КТ может существенно отличаться от экстраполированных с помощью той или иной модели и для повышения достоверности оценок распределения загрязнений на всем контролируемом пространстве в окрестностях КТ в уравнение модели распространения загрязнений вводится корректирующий член (5). Существует несколько типов элементарных катастроф. Знание конкретного типа катастрофы или его выбор из ряда альтернативных типов с помощью предложенного автором метода, описанного в третьей главе, позволяет повысить достоверность оценок состояния ОС в условиях неполных данных, когда часть недостающих данных может быть восстановлена на основе полинома (5), описывающего катастрофу, а "сомнительные" данные могут быть подтверждены как достоверные, если они согласуются с описанием катастрофы, либо отвергнуты - в противном случае.

Такой подход применим в случае "катастрофического" изменения характеристики узла СИМ (например, из-за разрыва или короткого замыкания в электронных схемах преобразователей).

формы информации) или системы (выход из строя ряда узлов СИМ или иное катастрофическое изменение структуры, обладающей относительной избыточностью).

На основе изложенного подхода разработан ряд алгоритмов уточнения распределения загрязнений в окрестностях источника выброса, а также алгоритм повышения достоверности данных узла СИМ и алгоритмы аппроксимации кривых распределения загрязнений в зоне влияния аварийного ПО.

Основные результаты и выводы

В процессе выполнения исследования, связанного с решением проблем наблюдаемости и идентификации при оперативной оценке состояний окружающей среды в случае аварий на промышленных объектах, были получены следующие результаты.

1. Сформулировано обобщенное понятие достоверности и развита методология оценки и повышения достоверности информации, релевантной состоянию ОС. Эта методология основана на общем теоретико-множественном подходе к описанию условий наблюдаемости и идентификации объектов (процессов). Сформулированы условия получения информации требуемой степени достоверности при неполноте или нечеткости исходных данных, а также для случая ограничения класса реализуемых алгоритмов.

2. На основе предложенной методологии разработана и исследована совокупность методов адаптивного повышения достоверности информации о состоянии ОС, опирающаяся на результаты теории нечетких множеств и использующая принцип введения информационной избыточности, а также идеологию "византийского соглашения".

Этот подход, получивший наименование метода эталонов, включает следующие процедуры:

идентификацию, т.е. выявление класса (типа) модели, наиболее близко описывающей поведение реального объекта (процесса) при заданных исходных данных; и оценка меры близости множеств, соответствующих реальному и модельному сглаженным распределениям интересующих параметров;

решение (если мера близости превышает допустимый пре-

дел, а аномальная дисперсия наблюдается в компактном подмножестве всего множества точек на кривой распределения интересующих параметров) о способе коррекции типовой (выбранной) модели;

изменение исходных данных и/или параметров с целью минимизации меры близости (и уточнения этих данных и/или параметров), если последние определены в условиях неполной или нечеткой информации.

Введение информационной избыточности в данном случае заключается в использовании ряда альтернативных моделей (эталонов), содержащих информацию, служащую для оценки аналогичной информации в реальном исследуемом объекте (процессе). Разработанные методы повышения достоверности могут быть использованы также при решении задач распознавания (идентификации) ситуаций (образов) и, в частности, задач оперативной диагностики.

3. Разработан подход к повышению достоверности данных моделирования, основанный на использовании результатов теорий особенностей, катастроф и фракталов в сочетании с методом альтернативных моделей (эталонов). Этот подход позволяет повысить качество оценок распределения загрязнений вокруг аварийного промышленного объекта и, кроме того, повышает эффективность функционирования необслуживаемых узлов сети измерительного мониторинга, продляя их срок службы и обеспечивая оценку степени достоверности выходных данных.

4. Сформулирован и обоснован принцип гибридного мониторинга, позволяющий эффективно решать задачи наблюдаемости и идентификации состояний окружающей среды в условиях неполной и нечеткой информации, предложена архитектура измерительной сети системы гибридного мониторинга, разработан ряд алгоритмов для оценки и повышения достоверности данных и результатов анализа состояния, опирающихся на предложенные методы.

Результаты работы были использованы в Киевском отделении АТЭИ при разработке проектов противовазрывных пунктов управления для действующих и строящихся АЭС, а также в ПО "Комбинат" при модификации системы АСНРО на Чернобыльской АЭС.

В целом решение поставленных в работе задач позволило

теоретически обосновать и разработать новые методы анализа, оценки и повышения достоверности данных, релевантных состоянию ОС, решить научную проблему гарантирования достоверности информационного обеспечения при принятии решений, связанных с ликвидацией последствий (или прогнозированием) тяжелых аварий на промышленных объектах, связанных с выбросом в атмосферу различного рода загрязнений. Результаты выполненной работы могут быть использованы и в других областях, где затраты на повышение достоверности данных адекватны получаемому при этом эффекту.

На защиту выносятся:

1. Формализация концепции обеспечения требуемой степени достоверности результатов наблюдения и идентификации состояний окружающей среды.

2. Метод эталонов – подход к повышению достоверности информации, вытекающий из разработанной концепции, теоретико-множественного представления о результатах наблюдений и объектах идентификации (в частности, в виде нечетких множеств) и методологии теории возможностей.

3. Подходы к повышению качества информационного обеспечения, опирающиеся на метод эталонов, некоторые результаты в области методов обнаружения раладок, а также прикладные аспекты теорий катастроф и фракталов.

4. Технология обработки данных наблюдений и процедуры идентификации, опирающиеся на разработанные методы и представленные в виде ряда оригинальных алгоритмов.

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах:

1. Еремеев И.С. Алгоритмизация процесса поиска оптимального режима очистки воды на основе анализа фазово-дисперсного состояния ее примесей // Проблемы чистой воды и пути ее реализации. - Киев: О-во "Знание", 1971. - с. 22-30.

2. Еремеев И.С. Аналого-цифровые регуляторы для инерци-

онных объектов //Технические средства автоматики. -М.: Наука, 1971. - с. 171-180.

3. А.С. 327452 СССР, МКИ G 05b 23/02. Устройство для обнаружения источника максимального сигнала и измерения этого сигнала / И.С.Еремеев.- Оpubл.26.01.72, Бюл.№ 5.

4. Еремеев И.С. Аналого-цифровые системы контроля та керування.-Київ: Техніка, 1972.-184 с.

5. Еремеев И.С. О некоторых вопросах компактирования информации//Проектирование и внедрение новых средств вычислительной техники.-Киев: ИК АН УССР, 1975.-С.36-42.

6. Еремеев И.С. Гибридный оптимизатор с экстраполятором для системы хлорирования воды //Аналоговая и аналого-цифровая вычислительная техника.-М.: Сов. радио, 1977.-Вып.7.-С.47-68.

7. Еремеев И.С., Кондалев А.И. Интеллектуальные терминалы - новый этап в развитии преобразователей формы информации //Проблемы создания преобразователей формы информации. Ч.1: Тез. докл. 4-го Всесоюз. симп.-Киев: Наук. думка, 1980.-С.52.

8. Еремеев И.С. Устройства сжатия информации. -М.: Энергия, 1980.-161 с.

9. Еремеев И.С., Кондалев А.И. О некоторых функциях и структурах интеллектуальных преобразователей формы информации //УСИМ-1982.-№ 4.-С. 59-63.

10. Еремеев И.С., Кондалев А.И. Интеллектуальные терминалы. -Киев: Техніка, 1984.- 1984.-128 с.

11. Еремеев И.С., Еременко В.А., Жернов В.С.и др. Гибридный мониторинг радиационной обстановки - перспективный подход к оперативному контролю и прогнозированию радиационного загрязнения среды выбросами и сбросами АЭС //Атомная энергия.-1985, 69, Вып.5.-С. 370-372.

12. Еремеев И.С., Еременко В.А., Жернов И.С. и др. Проблемы создания региональных систем контроля радиационной обстановки в зонах влияния объектов ядерной энергетики // Атомная энергия. -1986.-60, Вып. 1. -С.3-7.

13. Еремеев И.С., Рязанов В.В. Моделирование распространения загрязнений в атмосфере // Топливоиспользование и охрана окружающей среды : Сб. науч. тр. -М.: Моск. энерг. ин-т.-1986. № 110.-С.68-76.

14. Еремеев И. С., Литвинчук Н. И. Обеспечение достоверности результатов исследований в условиях нечеткой исходной информации: Тез. докл. 5-го Всесоюз. семинара «Автоматизация исследований в ядерной физике и смежных областях» (Ташкент, 15—17 нояб. 1988 г.) — Ташкент: ФАН, 1988. — С. 122—123.

15. Еремеев И. С., Клименко И. А., Коцарь Ю. Ю. и др. Цели и средства мониторинга радиоактивного загрязнения среды // Атомная энергия. — 1986. — 65, Вып. 6. — С. 437—439.

16. Еремеев И. С., Еременко В. А., Рязанов В. В. О сочетании измерительного и модельного мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды // Технический прогресс в атомной промышленности: «Изотопы в СССР». — М.: Атомэнергоиздат, 1989. — Вып. 74. — С. 200—203.

17. Еремеев И. С., Рязанов В. В. Оценка достоверности моделирования радиационной обстановки в зоне влияния АЭС // Атомная энергия. — 1989. — 66, Вып. 4. — С. 270—271.

18. Еремеев И. С. Метод выбора и коррекции оптимальной модели атмосферных загрязнений: Тез. докл. Всесоюз. конф. «Примеси-трассеры атмосферных процессов» (Паланга, 11—13 мая 1989 г.), — Вильнюс, 1989. — С. 41—42.

19. Еремеев И. С., Кондалев А. И. Повышение достоверности данных на выходе преобразователей формы информации // Электронное моделирование. — 1990. — № 2. — С. 104—106.

20. Еремеев И. С. Автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды. — Киев: Наука думка, 1990. — 256 с.

21. Еремеев И. С. Об одном подходе к повышению достоверности результатов распознавания // Межотраслевой науч.-техн. семинар «Разработка архитектуры и программного обеспечения вычислительных систем обработки информации в реальном времени»: Тез. докл. — Ленинград, 1991. — С. 38.

22. Еремеев И. С. Об одном подходе к распознаванию нечетких образов // Математические методы распознавания образов: Тез. докл. V Всесоюз. конф. — Киев: Институт кибернетики им. В. М. Глушкова АН Украины, 1991 — С. 50—51.

23. Yeremeyev I. S. Environment radioactive pollution distribution estimation assurance // New techniques in mathematical and computational modelling of turbulent diffusion and mixing in industrial and environmental problems / Technical Papers of Joint IMA and ERCOFTAC Conference (Loughborough, 26—28 March, 1991). UK. — Cambridge: IMA, 1991. P. 47—48.

24. Yeremeyev I. S. An approach to nonserviced information form converter output data estimation assurance // Measurement and Progress / Proc. 12-th IMEKO World Congress, Beijing, China, 5—10 September, 1991. — Beijing: CSM, 1991. — TSII. — P. 129—132.

25. Yeremeyev I. S. An approach to simulation of environmental pollution distribution // Proc. 9-th World Clean Air Congress (Montreal, 30 Aug. — 4 Sept., 1992) — Montreal: IUAPPA, 1992. — P. 71—72.

Подп. в печ. 18.12.92. Формат 60×84/16. Бум. кн. журн. Офс. печ. Усл. печ. л. 1,39. Усл. кр.-отт. 1,51. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ 1950.

Редакционно-издательский отдел с полиграфическим участком
Института кибернетики имени В. М. Глушкова АН Украины
252207, Киев 207, проспект Академика Глушкова, 40.

AB 26.370

AB 26.370