



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 205 за 2018 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Осипов В.П., Сивакова Т.В.,
Судаков В.А., Нечаев Ю.И.

Интеллектуальное ядро
системы поддержки
принятия решений

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Интеллектуальное ядро системы поддержки принятия решений / В.П.Осипов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2018. № 205. 23 с. doi:[10.20948/prepr-2018-205](https://doi.org/10.20948/prepr-2018-205)
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-205>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук**

**В.П. Осипов, Т.В. Сивакова,
В.А. Судаков, Ю.И. Нечаев**

**Интеллектуальное ядро системы
поддержки принятия решений**

Москва — 2018

Осипов В.П., Сивакова Т.В., Судаков В.А., Нечаев Ю.И.

Интеллектуальное ядро системы поддержки принятия решений

В работе рассматриваются концептуальные вопросы организации информационных систем, ориентированных на задачи поддержки принятия решений. Предложена инвариантная по отношению к предметной области декомпозиция системы поддержки принятия решений на ряд подсистем. Создана концептуальная схема информационных потоков, позволяющая создавать системы распределенного искусственного интеллекта. Исследованы технологии GRID, которые являются одним из перспективных направлений развития программного обеспечения многокритериального анализа альтернатив и оптимизации.

Ключевые слова: интегрированные интеллектуальные системы, системы поддержки принятия решений, многокритериальный анализ, информационная модель

Vladimir Petrovich Osipov, Tatiana Vladimirovna Sivakova, Vladimir Anatolievich Sudakov, Yury Ivanovich Nechaev

Intelligent core decision support system

The paper discusses conceptual issues of the organization of information systems focused on decision support tasks. An invariant with respect to the subject domain decomposition of a decision support system into a number of subsystems is proposed. The conceptual scheme of information flows allowing to create systems of distributed artificial intelligence is created. GRID technologies which are one of the perspective directions of development of the software of the multi-criteria analysis of alternatives and optimization are investigated.

Key words: integrated intelligent systems, decision support systems, multi-criteria analysis, information model

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН 56 «Фундаментальные основы прорывных технологий в интересах национальной безопасности».

Введение

Под термином **система поддержки принятия решений** (СППР) обычно понимается инструментарий выработки рекомендаций для лица, принимающего решение, на основе ранжирования конечного множества альтернатив (решений) или оптимизации их на бесконечном множестве. Сейчас под СППР часто понимают и инструментарий подготовки данных для лица принимающего решения (ЛПР). Этот инструментарий помогает создавать базы данных (как правило, объемные и содержащие сложные взаимосвязи), организовывать гибкий и удобный доступ к ним через мощные средства формирования запросов, получать результаты запросов в форме, максимально удобной для последующего анализа, использовать мощные генераторы отчетов и т.п.

СППР помогают решать задачи, которые традиционно считаются «интеллектуальными». Это диагностика проблемных ситуаций из различных областей (медицина, экология, геология и т.д.), конструирование, принятие политических, экономических и других решений. Такие задачи существовали всегда, но сегодня, благодаря развитию компьютерных систем, их решение стало практически возможным на основе формальных методов. Основные трудности были связаны с необходимостью одновременного учета множества взаимосвязанных факторов, влияющих на решение задачи, что приводило к большим информационным массивам, которые нельзя анализировать «вручную». Кроме того, широкое практическое внедрение СППР сдерживалось тем, что не все организации, которые хотели бы использовать эти системы, обладали достаточными информационно-вычислительными ресурсами. Удешевление аппаратного обеспечения, появление мощных систем управления базами данных (СУБД) и инструментальных средств разработки программ изменило ситуацию. Сейчас заказчики подобных систем в большинстве своем обладают или уже существующей информационной базой, хранящейся в ЭВМ, или достаточными финансовыми ресурсами для её создания [1],[25].

Как известно, отличительной особенностью слабо структурированных задач, т.е. именно тех задач, которые в наибольшей мере требуют привлечения СППР, является многокритериальность [26], заключающаяся в том, что качества принимаемых решений нельзя оценить с помощью единственного скалярного показателя и приходится прибегать к векторному критерию. Для разрешения возникающих при этом трудностей ранжирования и оптимизации альтернатив приходится использовать неформальные методы скаляризации, опирающиеся на суждения ЛПР.

В структуре (1) функциональными компонентами $F(S)$ являются исполняемые модули прикладных систем в совокупности с служебными модулями, обеспечивающими совместную работу объединяемых систем. Каждая из прикладных систем представляет собой класс задач интеллектуальной поддержки. В процессе совместной работы объединяемые

модули $M_i(i=1, \dots, m)$ взаимодействуют с обобщенной базой данных $D(W)$ с помощью служебных модулей, функции которых состоят в выборе из базы данных необходимых для своей работы данных и в размещении в ней результатов выполненного анализа. Управляющий программный комплекс $U(PC)$ обеспечивает функционирование интегрированной системы $I(S)$ с помощью программных средств.

$$I(S) = \langle F(S), D(W), U(PC) \rangle, \quad (1)$$

где $F(S)$ – функциональные компоненты; $D(W)$ – обобщенная база данных; $U(C)$ – управляющий программный комплекс.

Обобщенная база данных $D(W)$ формируется в соответствии с общими принципами построения хранилищ данных и знаний. Для представления структуры управления программными системами используются различные формализмы, в том числе и сети Петри [2]. Формальный аппарат этих сетей предназначен для моделирования упорядочения событий и потока информации.

Функциональный анализ прикладных систем, основанных на знаниях, обычно осуществляется в рамках международного стандарта IDEFO. Такая методология позволяет представить формальную модель интегрированной системы интеллектуальной поддержки моделирования и визуализации в нотации стандарта IDEFO в виде следующей обобщенной структуры (рис. 1).

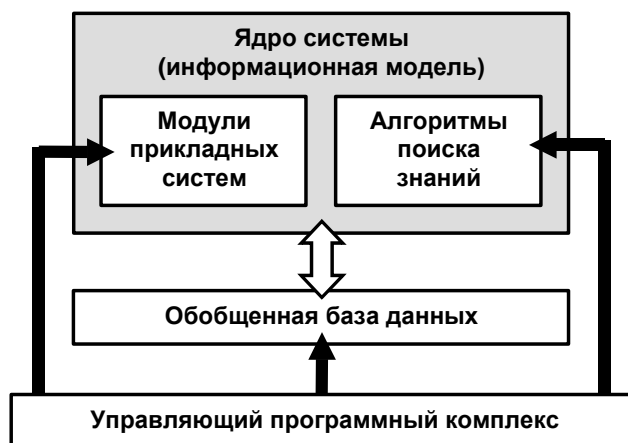


Рис. 1. Архитектура системы интеллектуальной поддержки

Интегрированная информационная система поддержки принятия решений

Синтез моделей обработки информации в интегрированной интеллектуальной системе (ИС) поддержки принятия решений определяет методы исследования проблем динамики сложных объектов, особенно в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды. При этом актуальными представляются проблемы создания эволюционно-самоорганизующихся баз знаний, а также систем адаптивного синтеза

информационно-вычислительных конфигураций. В совокупности эти проблемы определяют общую проблему разработки теоретических основ построения интегрированных программно-аппаратных комплексов. Программный комплекс интеллектуальной поддержки принятия решений в задачах моделирования и визуализации в интегрированной ИС представлен на рис. 2. Комплекс существенно расширяет функциональные возможности общей структуры, представленной на рис.1, и является системой распределенного искусственного интеллекта (ИИ).

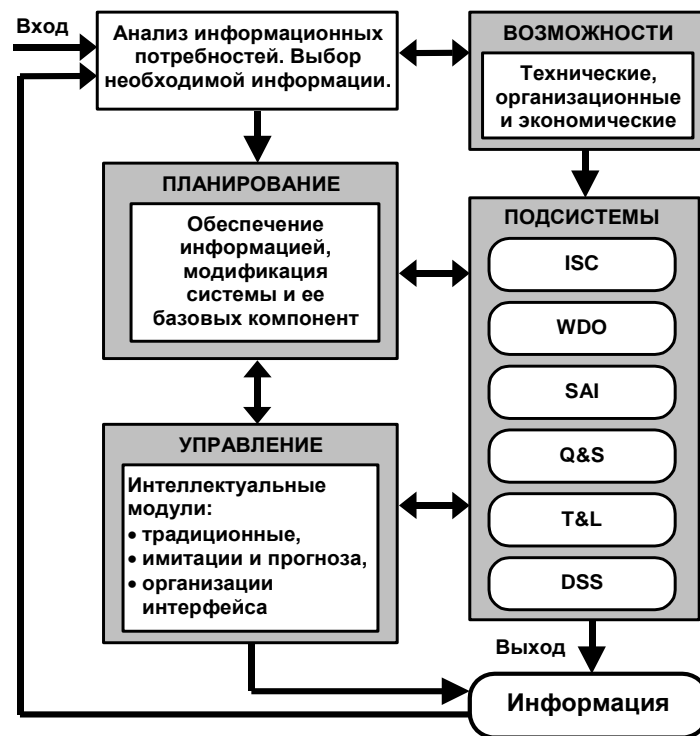


Рис.2. Поток информации, реализующий концепцию системы поддержки решений в интегрированной ИС: ISC – интегрированная подсистема управления вычислениями; WDO – подсистема организации данных. SAI – поиск и обеспечение доступа к информации; Q&S – контроль качества решений; T&L – тестирование и обучение; DSS – принятие решений

ИС сочетает строгие формальные методы анализа и интерпретации информации при решении задач динамики сложного объекта с эвристическими методами и моделями, базирующимися на достижениях компьютерной математики, знаниях экспертов, имитационных моделях, накопленном опыте. Система включает ряд взаимодействующих между собой модулей, выполняющих определенные функции в соответствии с общей стратегией функционирования. Помимо традиционных для систем интеллектуальной поддержки модулей, система содержит модули имитации, анализа и прогноза проблемной ситуации (моделирования), организации различных видов интерфейса.

Анализ задач, решаемых в рамках интегрированных ИС, позволяет выделить ряд особенностей:

- сложность алгоритмов и большое количество исходных данных с существенно различной структурой;
- наличие жестких требований к производительности вычислительной системы, необходимость вычислений в режиме реального времени;
- потребность реализации операций между большим количеством разнородных объектов, включая операции возмущения динамических объектов (ДО), с учетом сложной структуры отношений между классами объектов.

При реализации этих задач адаптивный синтез и распараллеливание компьютерных программ осуществляется путем систематического выполнения трансформаций программ, представленных схемными правилами. Однако многие распараллеливающие преобразования удобнее задать в процедурном виде. Представленные в виде правил трансформации знания (схемные правила) о методах распараллеливания программ можно накапливать и использовать с помощью подсистемы организации данных интегрированной ИС.

Исходные данные о текущей ситуации при функционировании ИС получают путем обработки априорной информации (рис. 3).

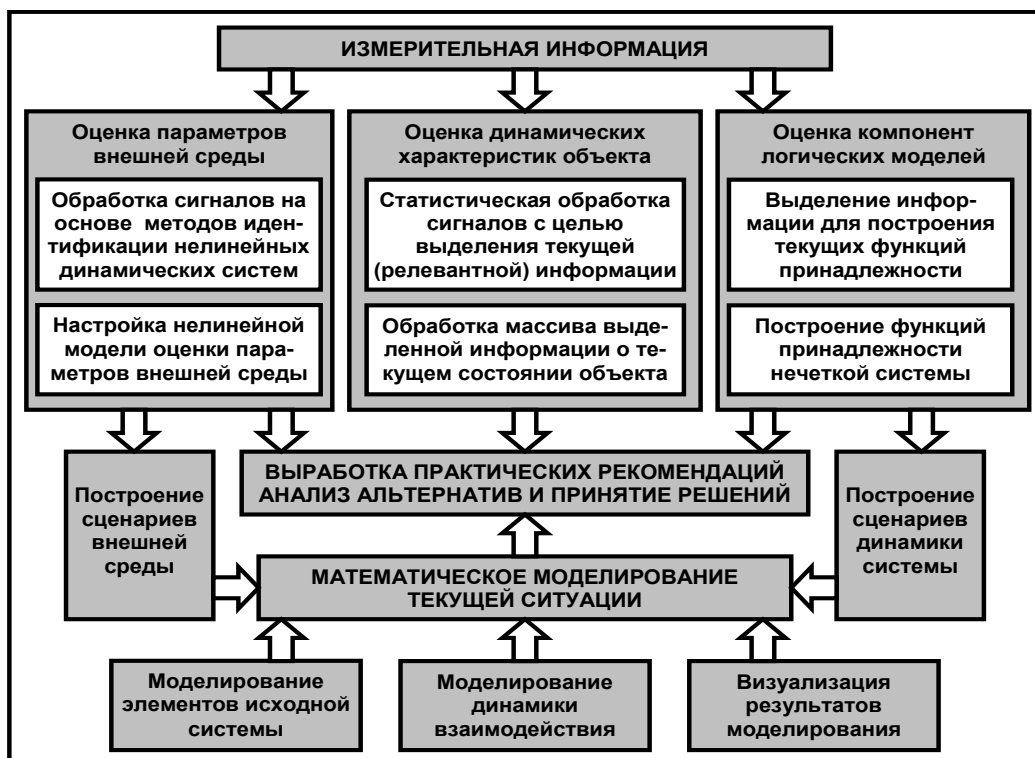


Рис. 3. Поток информации в задачах моделирования и визуализации

Обработка этой информации реализуется в режиме реального времени и позволяет «настроить» ИС на решение задач интерпретации текущей ситуации. Алгоритмы анализа и прогноза ситуации позволяют восстанавливать текущие

характеристики внешних возмущений и параметры ДО, а также построить фактические значения функций принадлежности, определяющие логику функционирования динамической базы знаний (оценку опасности ситуации и прогноз ее развития) на основе фактических данных о состоянии внешней среды и ДО.

Концептуальная модель преобразования информации при функционировании ИС в сложных динамических средах имеет вид:

$$S = (F: T \times X \times Q \rightarrow Y), \quad (2)$$

где S – множество стратегий управления; X – множество элементов оперативной базы данных; T – множество рассматриваемых моментов времени; Q – множество всех возможных значений вектора входных воздействий; $A=T \times X \times Q$ – множество закономерностей в данных; Y – множество правил обобщения информации; F – множество элементов, реализующих принцип конкуренции.

Система интеллектуальной поддержки обладает следующими отличительными свойствами [3]:

- сложной распределенной структурой (структурная сложность);
- многоцелевым характером преобразования информации (функциональная сложность);
- необходимостью учета и формализации неопределенности (информационная сложность);
- учетом особенностей разработки (проектная сложность).

Информационное пространство, предоставляемое системой интеллектуальной поддержки (рис. 4), обеспечивает возможность взаимодействия специалистов различных предметных областей при решении задач анализа и интерпретации информации на всех стадиях выполнения расчетов и моделирования при разработке сложных систем и технологий.

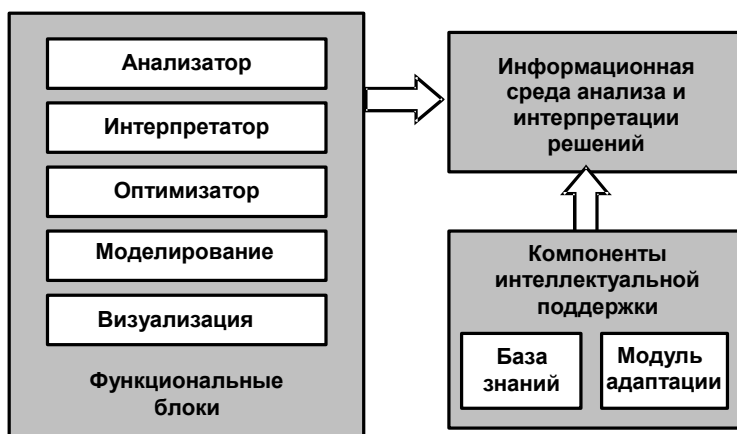


Рис. 4. Информационное пространство системы интеллектуальной поддержки

Общая информационная модель интеллектуальной поддержки моделирования и визуализации представляется как множество информационных моделей, состоящих из отдельных заранее определенных информационных объектов. Адаптивная компонента (модуль адаптации), обеспечивающая функционирование системы на базе информационной модели, передает найденное системой решение разработчику для дальнейшего анализа и интерпретации. Прогнозирование информационных потребностей и интеллектуальной поддержки заключается в определении класса решаемой задачи (ситуации), формировании и преобразовании информации с учетом особенностей разработчика и уровня его профессионального мастерства. При поиске модели интеллектуальной поддержки производится предварительная оценка эффективности и безопасности ее использования.

Концепция ИС сформулирована как обобщение и развитие традиционных моделей обработки информации на базе высокопроизводительных средств вычислений [4], [5], [24]. Концептуальная модель предусматривает использование интегрированной ИС не только для решения сложных задач при моделировании динамики сложных объектов, но и для расширения функциональных возможностей за счет обеспечения функционирования вычислительных комплексов в рамках хранилища данных (рис. 5), открывающего доступ к сетям Internet и Intranet.

При разработке концептуальной модели сформулированы принципы построения и особенности применения интегрированных ИС при решении сложных задач моделирования и интерпретации информации. Среди этих принципов следует выделить адаптивность, многопроцессорность и максимальное быстродействие, открытость, непрерывность функционирования и живучесть. Интегрированная ИС обладает возможностью эволюционного наращивания в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды, пример приведен на рис. 5.

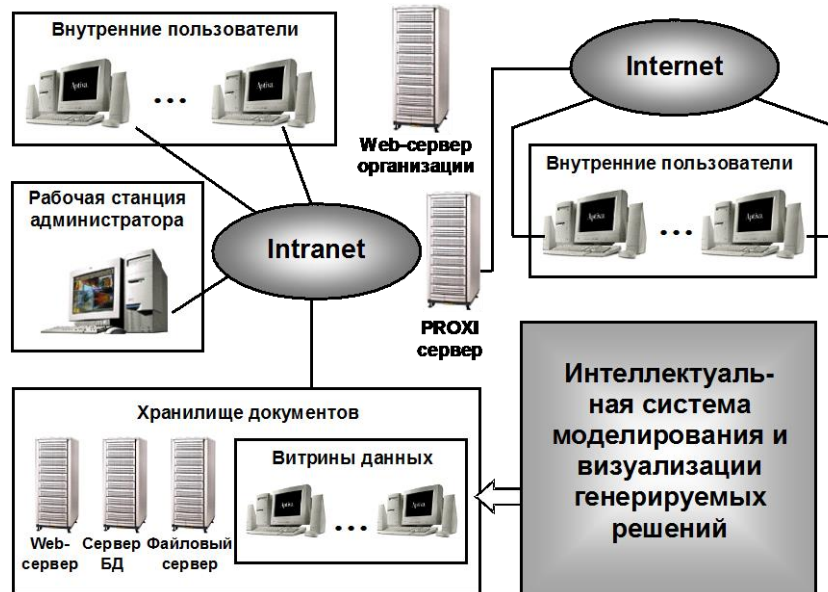


Рис.5. Интеграция ИС с хранилищем данных предприятия

Концепция GRID-систем в интегрированной ИС. Одним из перспективных направлений совершенствования ИС поддержки принятия решений является интеграция этой вычислительной технологии с интеллектуальной технологией GRID-систем. Системный анализ и синтез моделей обработки информации в интеллектуальных GRID-системах определяет методы решения сложных научно-технических проблем, особенно в приложениях, связанных с непрерывным функционированием исследуемых объектов. Создание интегрированных эволюционно-самоорганизующихся баз данных и знаний, а также систем адаптивного синтеза информационно-вычислительных конфигураций определяет общую проблему разработки теоретических основ построения самоорганизующихся программно-аппаратных комплексов, интегрирующих достижения ИС исследовательского проектирования и интеллектуальных GRID-систем [6].

Функционируя как виртуальная динамическая среда, GRID обеспечивает работу конечных пользователей и выполнение приложений как единая компьютерная система, объединяющая не только отдельные системы, но и организации, различные компьютерные архитектуры и программное обеспечение. При этом предлагается неограниченная мощность, возможность совместной работы и доступ к информации всем пользователям GRID-сети. Важное приложение имеют GRID-технологии при создании виртуальных программных комплексов. На рис. 6 представлена схема, реализующая особенности GRID-технологии при построении виртуального полигона на основе мультиагентных технологий [7].

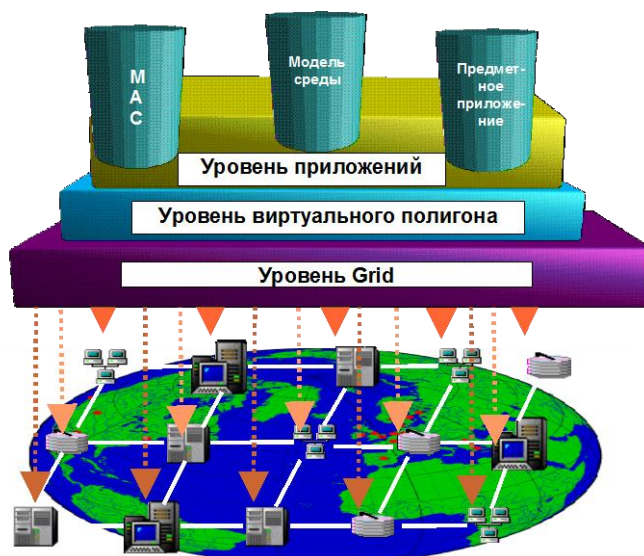


Рис.6. Особенности GRID-технологии при функционировании виртуального полигона

Стратегия GRID-технологий позволяет обеспечить следующие преимущества:

- повышение эффективности использования всех вычислительных ресурсов внутри каждой организации и всех других организаций, обеспечивающих функционирование системы;
- создание виртуальной организации (полигона), которая работает над едиными проблемами, позволяя совместно использовать приложения и данные и обеспечивая снижение совокупной стоимости вычислений путем раздельного использования и управления вычислительными ресурсами;
- возможность работы над большими задачами, требующими огромных вычислительных мощностей, объединение компьютерных вычислений, системы хранения данных и других ресурсов.

Объединение информационных ресурсов и создание единого информационного пространства на базе GRID-технологий открывает возможности объединения ресурсов, отличающихся по производительности, архитектуре, характеристикам и т. д. При этом обеспечивается поддержка не только аппаратных, но и разнообразных программных решений, включая среды выполнения и программирования приложений. Именно способность GRID объединять гетерогенные ресурсы, предоставлять единообразный доступ пользователям, обеспечивать качественное, надежное и недорогое обслуживание с гарантированной производительностью, а также обеспечивать универсальность среды моделирования (по приложениям, сервисам, ресурсам) выводит эту технологию в настоящее время на такие позиции.

Основные проблемы исследований при реализации GRID-технологий связаны с решением вопросов вычислительной мощности, создания единого информационного пространства, программного репозитория и системной

интеграции для обеспечения режима реального времени. Прогресс, достигнутый в области организации распределенных вычислений, а также опыт участия в международных проектах GRID позволяют успешно развивать это направление как вычислительный инструментарий, представляющий собой совокупность распределенных компьютерных ресурсов, доступных через локальную или распределенную сеть.

Таким образом, наибольший эффект при использовании GRID-технологии для создания единого информационного пространства функционирования ИС исследовательского проектирования позволяет решать задачи объединения разнородных ресурсов (вычислительные средства, программное обеспечение, базы данных, знания) и осуществлять единообразный доступ (организацию дружественного пользовательского интерфейса) и делегировать часть ресурсов для общего и распределенного использования и управления системой доступа внешних пользователей к распределенному ресурсу.

Парадигма обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде. Повышение достоверности оценки и прогноза ситуаций в сложных задачах на основе ИС достигается с использованием нового подхода к обработке информации, основанного на развитии концепции «мягких вычислений» [8], [9]. Этот подход предусматривает использование теоретических принципов, позволяющих рационально организовать вычислительную технологию обработки данных, а также формализовать поток информации в мультипроцессорной вычислительной среде [10], [11]. Реализация этих принципов дает возможность повысить эффективность функционирования ИС при непрерывном изменении динамики объекта и внешней среды. Проверка корректности алгоритмов управления и принятия решений осуществляется на основе общих требований к алгоритмическому обеспечению системы. Применительно к параллельным алгоритмам логического управления понятие корректности связано со специфическими свойствами таких алгоритмов: непротиворечивостью, устойчивостью и самосогласованностью. Таким образом, интегрированная ИС представляет собой сложный многопроцессорный вычислительный комплекс, который можно рассматривать как самоорганизующееся динамическое информационное пространство унифицированного представления данных и знаний о динамике сложного объекта.

При формальном описании вычислительного пространства в интегрированной ИС разрабатываются методы формирования альтернативных алгоритмов, с помощью которых реализуются принципы обработки информации в мультипроцессорной среде. При этом используются различные подходы к решению задач динамики – на основе методов классической математики (стандартные алгоритмы), нечетких и нейросетевых моделей [3], [4], [12]. Указанные методы образуют множество эквивалентных (функционально близких) алгоритмов. Повышение эффективности алгоритмов с одинаковым функциональным назначением достигается путем их адаптации к

исходным данным. Выбор предпочтительной вычислительной технологии осуществляется на основе анализа альтернатив [5], [13], [14].

Информационная модель знаний. Переход от общей формальной модели знаний к информационной модели, положенной в основу создания технологии обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде, можно рассматривать на основе следующих утверждений.

Утверждение 1. Формализация знаний при обработке информации в сложных динамических средах, характерных для ИС новых поколений, осуществляется на базе предметной области, выделенной из общей проблемной области, определяющей динамику интегрированной системы.

Утверждение 2. Структуризация знаний производится путем исследования множества объектов (внешняя среда, объект управления, динамика взаимодействия) и выявления структуры причинно-следственных связей между ними.

Утверждение 3. Информационная модель знаний реализуется на базе формализованных моделей, определяющих выделенные объекты и связи между ними. Такая модель позволяет осуществлять оценку соответствия динамики текущей ситуации процессам, происходящим в реальной системе с помощью системы критериев.

Утверждения 1–3 служат для отображения интегрированной ИС на средства высокопроизводительных вычислений, реализующих обработку информации в режиме реального времени в мультипроцессорной вычислительной среде на основе *информационной модели* (рис. 7).

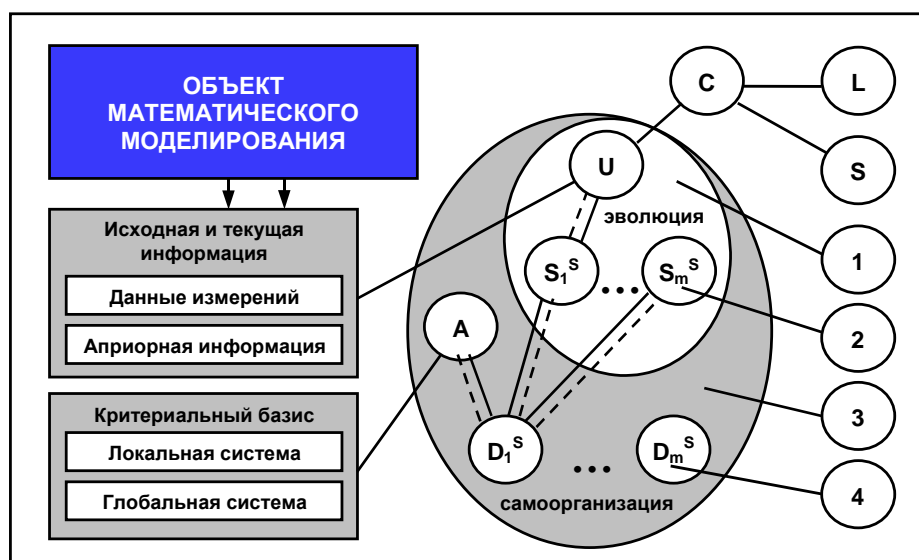


Рис. 7. Информационная модель интегрированной среды поддержки принятия решений

Эта модель синтезирует процессы эволюции и самоорганизации предметной области. Модель гомоморфна структуре процессов и представляется в виде графа, в вершинах которого отображаются причинно-

следственные связи, характеризующие интерпретацию текущих ситуаций на основе принципа конкуренции. Информационная модель рассматривается как *семантическая среда* с иерархически-сетевой структурой. Физический процесс в информационной модели представляет собой одну из характеристик предметной области (объект исследования), а смысл (семантика) локализуется в отдельном элементе.

Таким образом, объектом рассматриваемой прикладной теории является процесс моделирования. Построение и изучение этого процесса осуществляется на основе «модели моделей», которая получила название репромодели RM (от англ. reproduce – воспроизводить, породить). Репромодель [15] представляет собой упрощенный и наглядный прототип создаваемых в ИС моделей теории принятия решений. Такая интерпретация дает возможность эффективного использования априорной и оперативной информации в системе S в процессе ее функционирования.

Здесь C – концептуальная модель; S – система (объект) моделирования; $S_1(M), \dots, S_m(M)$ и $D_1(M), \dots, D_n(M)$ – статические и динамические модели прогноза и оперативного управления; U – управляющая компонента, обеспечивающая переход к статическим и динамическим моделям; L – язык моделирования, характеризующий типовые математические схемы и структуры; A – алгоритм поведения системы; K(N) и K(I) – критериальные соотношения, определяющие локальную и глобальную системы. Локальная система определяет требования, связанные с индивидуальными особенностями ДО (конструкция, архитектура, особенности восприятия статических и динамических нагрузок), а глобальная система включает требования национальной и международной систем, регламентирующих безопасность ДО в условиях эксплуатации [3], [4].

Рассмотрим особенности информационной модели, представленной на рис.7. Объектом прикладной теории интеллектуальной поддержки в сложных ситуациях является непосредственно процесс моделирования в системе «Оператор – ИС». Этот процесс обозначим через S и представим как результат последовательного перехода от моделируемого объекта (системы S) сначала к статическим моделям S(M), используемым в задачах анализа и прогноза при стратегическом управлении, а затем к динамическим моделям D(M), непосредственно используемым при оперативном управлении в рамках принципа конкуренции на базе методов классической теории управления, нечетких и нейросетевых алгоритмов.

Анализ альтернатив и принятие решений осуществляются на основе критериальной системы, включающей национальные K(N) и международные K(I) требования к безопасности ДО. Переход от модели S(M) к модели D(M) осуществляется через описание C (концептуальную модель системы), фиксирующее сведения о моделируемом ДО, процессе S в понятиях языка L в терминах типовых конкурирующих математических схем и структур, используемых в теории и практике предметной области. При выборе схемы

имитационного моделирования вводится понятие среды W , позволяющее использовать информацию прикладного характера J о целях моделирования, законах функционирования системы, имеющемся математическом аппарате для исследования методов и алгоритмов управления ИС.

Светлым овалом на рис. 7 указана область статических моделей прогноза (эволюционное моделирование), представляющая движение в пространстве статических моделей в процессе функционирования системы. Темный овал – область динамических моделей, характеризующая движение в пространстве динамических (активных) моделей, которая получила название «моделирование с самоорганизацией». Компоненты модели S базируются на эвристических представлениях и могут изменяться в процессе накопления информации о динамике взаимодействия объекта с внешней средой при различном уровне внешних возмущений в условиях эксплуатации.

Среди статических моделей $S_1(M), \dots, S_m(M)$, интегрированных в репромодели, следует выделить ансамбль моделей, с помощью которых осуществляется интерпретация текущей ситуации. Динамические модели $D_1(M), \dots, D_n(M)$ обеспечивают прогноз и оперативное управление поведением системы в процессе ее эволюции под воздействием внешних возмущений. Основную группу динамических моделей образуют модель функционала действия [16], [17] и модифицированные модели Дuffedинга и Матье [18], а также системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение ДО в экстремальных ситуациях [3], [4], [12].

Разработка и анализ математических описаний и структур данных, связанных с эволюционным моделированием и самоорганизацией динамических моделей, представляет собой одно из важных направлений при создании алгоритмов и программного обеспечения, повышающих надежность принятия решений в различных условиях эксплуатации.

Концептуальные основы создания динамической базы знаний, обеспечивающей контроль режимов функционирования ИС при взаимодействии ДО с внешней средой базируются на фундаментальных принципах, определяющих архитектуру системы и уровни ее управления.

Сформулированная таким образом система может быть применена на этапе обоснования принципов построения и функционирования вычислительного комплекса и поддерживающего его программно-инструментального средства моделирования и анализа сложных ситуаций.

Используемая информационная модель описывает компьютерную интерпретацию (построение моделей для формальных систем) предметной области, связанной с формализацией задачи контроля режима функционирования ИС и моделирования возникающих в практике эксплуатации нестандартных (нештатных и экстремальных) ситуаций.

Повышение эффективности функционирования, достоверности оценки и прогноза исследуемой ситуации в вычислительных комплексах, использующих

интеллектуальные технологии, достигается с использованием парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде [10], [11].

Принципы организации системы

Повышение эффективности функционирования, достоверности оценки и прогноза исследуемой ситуации в вычислительных комплексах, использующих интеллектуальные технологии, достигается на основе парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде (рис. 8).

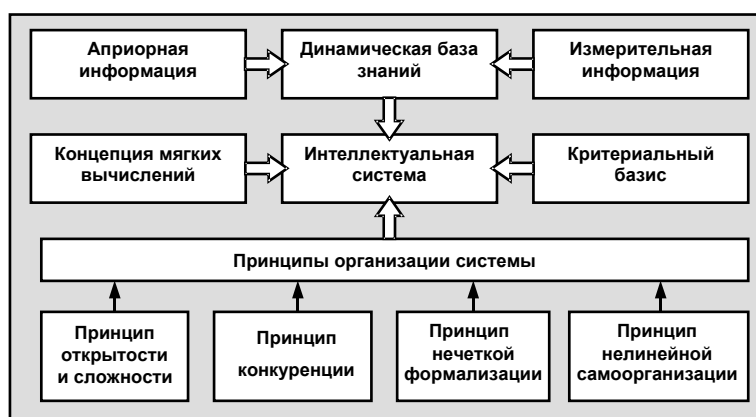


Рис. 8. Принципы организации системы поддержки принятия решений на основе технологии интеллектуальных систем

Расширение функциональных возможностей системы обеспечивается на основе принципов открытости, сложности и конкуренции в рамках концепции мягких вычислений [8], [9]. Ниже дается краткая характеристика этих принципов, использование которых ориентировано на новые поколения ИС с учетом реальных данных о внешних возмущениях в районе эксплуатации [4], [19].

Принцип открытости. Практические приложения методов ИИ при оценке поведения ДО развиваются в направлении анализа и моделирования сложных систем и связаны с понятием открытых систем, включающих большое количество различных элементов. Причем значительную роль в задачах интерпретации динамики взаимодействия стали играть не только сами элементы системы (внешнее возмущение, динамика объекта), но и взаимодействия между ними [4].

Анализ открытой системы позволяет отметить следующие особенности:

1. Возможность анализа элементов системы моделирования и визуализации поведения ДО во взаимосвязи с окружающей средой.

2. Более глубокое и качественное понимание особенностей самой системы поддержки принятия решений, причинно-следственных связей между ее элементами, описывающими реальную динамику взаимодействия. Возможность анализа особенностей функционирования системы в нестационарной динамической среде.

3. Изучение истории изменений системы взаимодействия ДО, неотрывно связанной с внешней средой и накопленной информацией в процессе проектирования и проведения модельного и натурального эксперимента.

Таким образом, открытость ИС нового поколения представляет богатые возможности для ее понимания и использования при интерпретации поведения ДО. Однако моделирование таких систем в условиях неопределенности и неполноты исходной информации даже при отсутствии внешних возмущений является непростой задачей. В качестве одного из направлений решения таких трудно формализуемых задач можно использовать эволюционное и когнитивное моделирование, для осуществления которых необходимо разработать строгую методологию в виде набора правил. При этом практический интерес представляет моделирование эволюции потенциально сложных объектов новой техники, обладающих в то же время широкой областью применения и алгоритмической универсальностью.

Концепция «мягких вычислений». Теоретическая база создания ИС новых поколений формируется на основе эффективного сочетания накопленной системы знаний с новыми подходами и парадигмами ИИ. Среди них важная роль принадлежит методам и моделям, обеспечивающим формализацию и интеграцию знаний, механизм логического вывода, поиск решений и выдачу практических рекомендаций. Наряду с традиционными методами «инженерии знаний» здесь находит применение концепция «мягких вычислений» [8], [9] (рис. 9).



Рис. 9. Концепция «мягких вычислений»

Эффективность взаимодействия исследователя с ИС достигается за счет реализации методов и средств повышения человеко-компьютерного взаимодействия при принятии решений в сложных, особенно в нестандартных (нештатных и экстремальных) ситуациях – когнитивной парадигмы, средств мультимедиа и виртуальной реальности. Особенности применения методов математического моделирования в ИС новых поколений состоят в том, что в процессе построения моделей динамики объекта и внешней среды возникает ошибка аппроксимации, что подчеркивает важность использования надежной информации при реализации адаптивной компоненты динамической базы знаний в задачах совершенствования алгоритмического и программного обеспечения ИС, осуществляющей интеллектуальную поддержку реализации методов и моделей.

Концепция конкуренции. Повышение достоверности оценки и прогноза исследуемой ситуации достигается с использованием парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде, основанной на развитии концепции «мягких вычислений». Парадигма предусматривает использование двух теоретических принципов (рис. 10) позволяющих обеспечить рациональную организацию вычислительной технологии обработки данных измерений в задаче анализа и прогноза развития экстремальной ситуации, а также формализовать поток информации при реализации нечеткого логического вывода в мультипроцессорной вычислительной среде [10], [11].

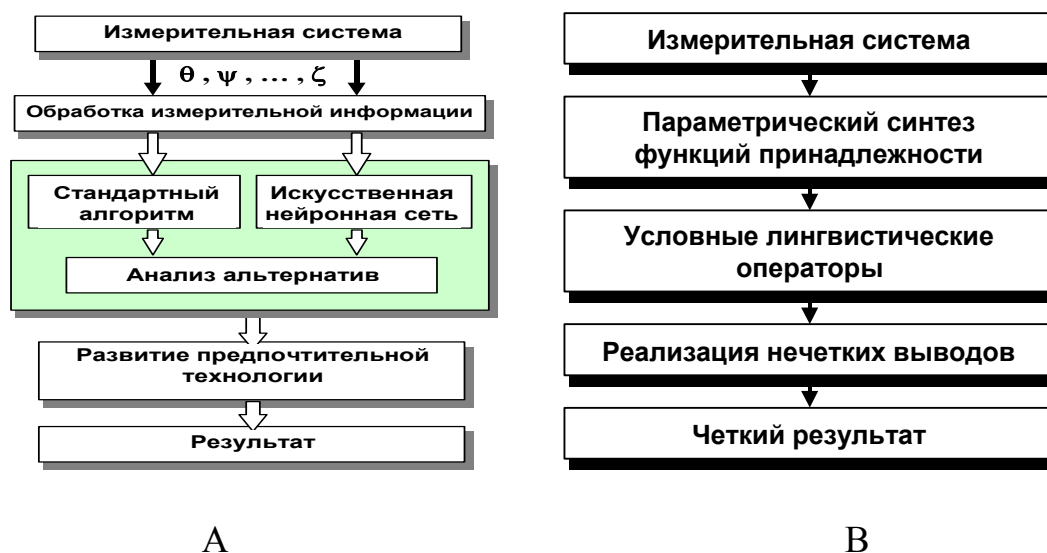


Рис. 10. Поток информации при реализации принципа конкуренции (А) и принципа формализации нечеткой информации (В)

Принцип конкуренции при выборе вычислительной технологии обеспечивает сравнительный анализ результатов оценки ситуации с использованием традиционных алгоритмов и нейросетевых моделей. Используемые процедуры параллельной обработки информации при реализации этого принципа отражают процесс функционирования

вычислительного комплекса ИС исследовательского проектирования – от момента получения информации до процедуры логического вывода и выработки практических рекомендаций.

Принцип формализации нечеткой информации в мультипроцессорной вычислительной среде позволяет осуществлять параллельные цепочки нечеткого вывода в непрерывно изменяющихся условиях динамики объекта и внешней среды. Использование этого принципа в ИС поддержки принятия решений дает следующие преимущества:

- открывает перспективы программной реализации сложных моделей представления и обработки нечеткой системы знаний;
- обеспечивает функционирование комплекса в режиме реального времени и сокращает расходы на разработку аппаратного обеспечения механизма нечеткого вывода;
- устраняет трудности решения задач при распараллеливании вычислительного процесса с существенной нерегулярностью вычислений, характерной для задач поддержки принятия решений, реализуемых на базе интегрированных комплексов.

При реализации сформулированных выше принципов обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде необходимо руководствоваться следующими утверждениями:

Утверждение 1. Анализ альтернатив и принятие решений в задачах контроля поведения исследуемого ДО в сложных ситуациях осуществляется с использованием критериев, определяющих приоритетность решения $F(u) \rightarrow [0,1]$.

Утверждение 2. Реализация конкурирующих вычислительных технологий при интерпретации методов моделирования связана с принятием решения в условиях априорной неопределенности. Нечеткая критериальная база выбора решения определяется особенностями взаимодействия ДО с внешней средой в исследуемой ситуации.

Утверждение 3. Оценка полезности решения при наличии информации «задача – решение – критерий» определяется путем формирования нечеткой модели знаний и композиционного правила, которые определяют отличие полученного качества решения от желаемого с учетом системы предпочтений, определяющих приоритетность решения.

Реализация утверждений 1-3 дает возможность повысить эффективность принимаемых решений при функционировании ИС в условиях неопределенности и неполноты исходной информации, особенно при непрерывном изменении динамики объекта и внешней среды. Практическая значимость обработки информационных потоков в реальном времени обусловлена стремлением повысить скорость машинных вычислений путем распараллеливания алгоритмов и реализации их на высокопроизводительных вычислительных платформах [5].

Проверка корректности алгоритмов принятия решений осуществляется формальным путем на основе требований к алгоритмическому обеспечению системы. Применительно к параллельным алгоритмам логического управления понятие корректности связано со специфическими свойствами таких алгоритмов: непротиворечивостью, устойчивостью и самосогласованностью [3], [4].

Принцип сложности. Противоречие между усложнением разрабатываемых моделей взаимодействия судна с внешней средой и необходимостью применения традиционных математических методов определяет одну из важнейших задач интерпретации динамических ситуаций – разработку методологии математического моделирования с учетом требований не только к адекватности, но и к сложности самой модели. Решение данной задачи включает в себя разработку методов и алгоритмов, обеспечивающих в условиях неточности и неопределенности информационного обеспечения направленный поиск оптимальных моделей. При этом критериальное пространство учитывает не только близость выхода модели принятому эталону, но и ее сложность, поскольку она прямо связана с полнотой учета в модели имеющихся априорных данных.

Принцип сложности ориентирован на удовлетворение все возрастающих потребностей не только в методах синтеза решений, но и математического моделирования поведения ДО, особенно в сложной динамической среде. На базе принципа сложности создана общая теория сложности систем [20], которая требует конкретизации ее положений применительно к задачам моделирования поведения ДО. Расширение спектра решаемых задач приводит к использованию новых подходов и обобщений, так как сложность модели представляет собой показатель, характеризующий реализацию вычислительной технологии, обеспечивающей достижение цели при заданном уровне качества моделирования, характеризующего степень (полноту) выполнения моделью основной цели моделирования и интерпретации полученных данных.

Сложность является одним из главных факторов, формирующих облик модели взаимодействия ДО с внешней средой. Принцип сложности может быть использован и при моделировании поведения ДО по данным экспериментальных исследований в терминах «вход-выход» и в категориях пространства состояний, а также по различным видам информационного и алгоритмического обеспечения. Применение принципа сложности в условиях неопределенности и неполноты исходной информации требует определения искомой модели совместно с оценкой ее сложности: «реализация модели – сложность модели» как единого целого. Такой подход отвечает концепции Л.Заде [21] о переходе к учету при математическом моделировании нечетких факторов в рамках теории нечетких множеств.

Принцип нелинейной самоорганизации. Функционирование системы поддержки принятия решений связано с контролем ситуации и прогнозированием ее развития в условиях непрерывного изменения динамики

объекта и внешней среды [3], [22]. Обеспечение контроля осуществляется на основе адаптивных алгоритмов, способных изменять свою структуру при изменении поведения ДО. При синтезе таких алгоритмов используют различные подходы – детерминистский, стохастический и подход на основе принципов самоорганизации. Первые два подхода предполагают наличие в исходных данных полного информационного базиса, т.е. всех определяющих параметров и факторов, которые необходимо учитывать при анализе ситуации. Принцип нелинейной самоорганизации требует минимального объема априорной информации. Методологической основой этого принципа является допущение о том, что вся информация о структуре и поведении динамической системы содержится в данных измерений и критериальных соотношениях, определяющих выбор структуры модели.

Для прогнозирования состояния ДО в условиях непрерывного изменения внешней среды необходимо сформулировать математическую модель, содержащую всю необходимую информацию о параметрах и изменении состояния объекта в течение заданного интервала времени. Именно поэтому принцип нелинейной самоорганизации наиболее эффективен в задачах контроля и прогнозирования экстремальных ситуаций, связанных с внезапными (скачкообразными) изменениями в поведении объекта. На основании данных прогноза система вырабатывает практические рекомендации таким образом, чтобы избежать этой опасности. Реализация принципа нелинейной самоорганизации при разработке базы знаний ИС требует большого объема вычислительных операций, связанных с предварительной оценкой динамики объекта на основе математического моделирования экстремальных ситуаций с последующей формулировкой соответствующих критериальных оценок.

Проверка корректности алгоритмов управления и принятия решений осуществляется формальным путем на основе общих требований к алгоритмическому обеспечению системы. Применительно к параллельным алгоритмам логического управления понятие корректности связано со специфическими свойствами таких алгоритмов: непротиворечивостью, устойчивостью и самосогласованностью [4], [23].

Заключение

Системы поддержки принятия решений, как инструментарий многокритериального анализа альтернатив и оптимизации, требуют создания общесистемных принципов и подходов. При создании систем следует руководствоваться следующими базовыми инвариантными по отношению к предметной области технологиями и концепциями: эволюционно-самоорганизующиеся базы знаний; адаптивный синтез информационно-вычислительных конфигураций; GRID-технологии и парадигма обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде; принципы

открытости, нелинейной самоорганизации, концепции конкуренции и мягких вычислений.

Библиографический список

1. Забежайло М.И. Интеллектуальный анализ данных – новое направление развития информационных технологий // НТИ. Сер.2. Информационные процессы и системы. 1998. №8, с. 6-17.
2. Петерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
3. Системы искусственного интеллекта в интеллектуальных технологиях XXI века. – М.: Радиотехника, 2011.
4. Бортовые интеллектуальные системы. Часть 1. Авиационные системы. Часть 2. Корабельные системы. – М.: Радиотехника, 2006. Часть 3. Системы корабельной посадки летательных аппаратов. – М.: Радиотехника, 2008.
5. Нечаев Ю.И., Горбачев Ю.Е. Реализация сложных интеллектуальных комплексов на базе современных суперкомпьютеров // Тр. Международной конференции «Интеллектуальные многопроцессорные системы». Таганрог. 1999, с.78-85.
6. Нечаев Ю.И., Бухановский А.В., Васильев В.Н. Концепция и методологические основы создания интеллектуального базиса грид-систем // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. №54. 2008, с.13 – 28.
7. Богданов А.В., Дегтярев А.Б., Нечаев Ю.И. Проблемы создания виртуального полигона моделирования сложных динамических объектов // Сборник докладов на международной научной конференции «Суперкомпьютерные системы и их применение». Минск. 2004, с.31-37.
8. Нечаев Ю.И. Концепция мягких вычислений в бортовых интеллектуальных системах // Информационно-измерительные и управляющие системы. №2. Т.7, 2009, с.3 – 11.
9. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. Vol.37. №3, pp.77 – 84.
10. Нечаев Ю.И. Нейросетевые технологии в интеллектуальных системах реального времени // Труды 4-й всероссийской конференции «Нейроинформатика – 2002». М.: МИФИ. 2002. Лекции по нейроинформатике. Часть 1, с.114 – 163.
11. Нечаев Ю.И. Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени // Труды 5-й всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика – 2003». М.: МИФИ.2003. Лекции по нейроинформатике. Часть 2, с.119–179.

12. Нейрокомпьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. – М.: Радиотехника, 2011. – 352.
13. Васильев Д.К. Типовые решения в управлении проектами. – М.: ИПУ РАН. 2003. – 75 с.
14. Дегтярев А.Б., Кастнер С., Нечаев Ю.И. Моделирование сложных динамических систем в нечеткой среде // Тр. Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM-2001. Санкт-Петербург. 2001. т.2, с.119-124.
15. Яковлев С.Я. Методология имитационного моделирования распределенных интеллектуальных информационных систем // Сборник докладов первой всероссийской конференции «Опыт применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках». Т.1. Санкт-Петербург.2003, с.28-35.
16. Нечаев Ю.И., Дубовик С.А. Высокопроизводительные вычисления на основе принципа конкуренции с использованием вероятностно-асимптотических методов структурирования данных // Морской вестник. 2003. №2, с.95-100.
17. Nechaev Yu.I., Dubovik S.A. Probability-asymptotic methods in ship dynamic problem // Proceedings of 15th international conference on hydrodynamics in ship design, safety and operation. Gdansk. Poland. 2003, pp.187-199.
18. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. – М.: Мир, 1973. – 336 с.
19. Boukhanovsky A., Degtyarev A., Lopatoukhin L., Rozhkov V. Stable states of wave climate: applications for risk estimation. Proceedings of the International conference STAB'2000, Launceston, Tasmania, Australia, February, 2000, vol.2, pp.831-846.
20. Солодовников В.В., Тумаркин В.И. Теория сложности и проектирование систем управления. - М.: Наука, 1990. – 168 с.
21. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. – 167 с.
22. Забелинский А.И. Нелинейная самоорганизация как подход к построению прогнозирующих моделей // Автоматизация и информационные технологии. 2001. №9, с.17 – 19.
23. Нечаев Ю.И. Искусственный интеллект: концепции и приложения. – Санкт-Петербург. ГМТУ, 2002.
24. Осипов В.П., Сивакова Т.В., Судаков В.А. Предпосылки унификации программных средств поддержки принятия решений // Программные продукты и системы, 2013, №3, с. 147-150.
25. Осипов В.П., Сивакова Т.В., Судаков В.А., Загреев Б.В., Трахтенгерц Э.А. Методологические основы поддержки принятия решений при планировании научно-прикладных исследований и экспериментов на международной космической станции (МКС) // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2013. Т.9. № 3, с. 80-88.

26. Осипов В.П., Судаков В.А. Комбинированный метод поддержки принятия многокритериальных решений // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2015. № 30. 21 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-30>

Оглавление

Введение	3
Интегрированная информационная система поддержки принятия решений	4
Принципы организации системы	15
Заключение	20
Библиографический список	21