

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев, Украина

Анотація. *Напівнатурне моделювання – це моделювання з реальною апаратурою, при якому частина системи моделюється, а решта частини є реальною. Застосування такого методу моделювання стає необхідним у тих випадках, коли не вдається описати роботу деяких елементів системи математично. Стрімке збільшення об'ємів інформації, що поступає і переробляється, приводить до значних змін у способах і методах аналізу інформації і вимагає впровадження ефективних методів і інтелектуальних технологій системи підтримки користувачем прийняття рішень (СППР). У даний час немає єдиного загальноприйнятого визначення СППР, оскільки будова системи безпосередньо залежить від тих завдань, для вирішення яких вона використовується, а також від доступних знань, даних і інформації, на основі яких ухвалюються рішення. Уточнені загальні принципи побудови СППР і запропонований один із варіантів структурної схеми системи для напівнатурного моделювання, виділені основні проблеми побудови бази знань. Використані методи аналітичного огляду і виділення характерних ознак напівнатурного моделювання стосовно архітектурно-структурної організації СППР і загальних принципів побудови системи. Розглянутий метод побудови СППР і його основні властивості забезпечують скорочення термінів і вартості розробки особливо, коли ОПР ухвалює рішення в реальному масштабі часу. У процесі напівнатурного моделювання вдало поєднуються достоїнства математичного і натурного моделювання і може бути досягнута оптимальна взаємодія між обчислювальними і натурними експериментами. В даний час методи напівнатурного моделювання ефективно застосовують при проектуванні різноманітних автоматичних систем, що управляють.*

Ключові слова: *напівнатурне моделювання, загальні принципи побудови СППР, основні етапи проектування бази знань.*

Аннотация. *Полунатурное моделирование – это моделирование с реальной аппаратурой, при котором часть системы моделируется, а остальная часть является реальной. Применение такого метода моделирования становится необходимым в тех случаях, когда не удается описать работу некоторых элементов системы математически. Стремительное увеличение объемов поступающей и перерабатываемой информации приводит к значительным изменениям в способах и методах анализа информации и требует внедрения эффективных методов и интеллектуальных технологий системы поддержки пользователем принятия решений (СППР). В настоящее время нет единого общепринятого определения СППР, так как строение системы напрямую зависит от тех задач, для решения которых она используется, а также от доступных знаний, данных и информации, на основе которых принимаются решения. Уточнены общие принципы построения СППР и предложен один из вариантов структурной схемы системы для полунатурного моделирования, выделены основные проблемы построения базы знаний. Используются методы аналитического обзора и выделения характерных признаков полунатурного моделирования применительно к архитектурно-структурной организации СППР и общих принципов построения системы. Рассмотренный метод построения СППР и его основные свойства обеспечивают сокращение сроков и стоимости разработки особенно, когда ЛПР принимает решение в реальном масштабе времени. В процессе полунатурного моделирования удачно сочетаются достоинства математического и натурного моделирования и может быть достигнуто оптимальное взаимодействие между вычислительными и натурными экспериментами. В настоящее время методы полунатурного моделирования эффективно применяют при проектировании разнообразных автоматических управляющих систем.*

Ключевые слова: *полунатурное моделирование, общие принципы построения СППР, основные этапы проектирования базы знаний.*

Abstract. *Seminatural modelling is a modelling with real equipment at which the system part is modelled, and other part is real. Application of such method of modelling becomes necessary when it is not possible to describe work of some elements of a system mathematically. The rapid increase in the volume of incoming and processed information leads to significant changes in the methods and methods of information analysis and requires the introduction of effective methods and intelligent technologies of the user support decision-making system (DSS). At present, there is no single generally accepted definition of DSS, since the structure of the system directly depends on the tasks for which it is used, as well as on the available knowledge, data and information on the basis of which decisions are made. The general principles of building DSS are clarified and one of the variants of the system's structural scheme for semi-natural modeling is proposed, the main problems of building the knowledge base are highlighted. The methods of analytical review and selection of characteristic features of semi-natural modeling in relation to the architectural and structural organization of DSS and the general principles of the system are used. The considered method for constructing a DSS and its basic properties provide a reduction in the time and cost of development, especially when the decision maker makes a decision in real time. In the process of semi-natural modeling, the advantages of mathematical and natural modeling are successfully combined, and the optimal interaction between computational and full-scale experiments can be achieved. Currently, methods of semi-natural modeling are effectively used in the design of various automatic control systems.*

Keywords: *seminatural modelling, the general principles of construction DSS, the basic design stages of the knowledge base.*

1. Введение

Полунатурное моделирование – это моделирование с реальной аппаратурой, при котором часть системы моделируется, а остальная часть является реальной [1]. Применение такого метода моделирования становится необходимым в тех случаях, когда не удастся описать работу некоторых элементов системы математически. В процессе полунатурного моделирования удачно сочетаются достоинства математического и натурального моделирования и может быть достигнуто оптимальное взаимодействие между вычислительными и натурными экспериментами. В настоящее время методы полунатурного моделирования эффективно применяют при проектировании разнообразных автоматических управляющих систем:

- объект управления находится еще в стадии проектирования, а элементы устройства управления реально существуют;
- элементы устройства управления имеют нелинейные характеристики, трения, помехи, которые при составлении их уравнений не учитывались;
- проведение натуральных экспериментов по настройке устройства управления на объекте дорого или вообще недопустимо;
- элементы устройства управления имеют нелинейные характеристики, трения, помехи, которые при составлении их уравнений не учитывались;
- проведение натуральных экспериментов по настройке устройства управления на объекте дорого или вообще недопустимо.

Для проведения полунатурного моделирования необходимо иметь сопрягающие устройства для связи модели (ЭВМ) с внешними реальными элементами. Наряду с реальной аппаратурой в замкнутую модель могут входить имитаторы воздействий и помех, математические модели внешней среды и процессов, для которых неизвестно достаточно точное математическое описание. Включение реальной аппаратуры или реальных систем в контур моделирования сложных процессов позволяет уменьшить априорную неопределенность и исследовать процессы, для которых нет точного математического описания. В настоящее время полунатурное моделирование основывается, как правило, на применении систем искусственного интеллекта (ИИС), для которых главной фундаментальной стратегической целью является анализ и прогнозирование возможности наделения технических и компьютерных систем мыслительными функциями. В этом случае теоретическая есте-

ственно-научная цель заключается в познании механизмов и способов осуществления различных функций мозга, анализа и обработки информации, а также в построении моделей этих функций. Кроме того, практическая, техническая цель состоит в решении неотложных задач, которые характеризуются высокой степенью сложности и неструктурированности, с которыми человеческий интеллект не может справиться без помощи технических и компьютерных средств. И здесь на помощь приходит полунатурное моделирование.

Полунатурное моделирование, как средство промежуточного проектирования, используется в различных областях, в частности, при проектировании процесса формирования акустических когерентных изображений [2] объектов дистанционного зондирования, что имеет специфические особенности из-за высокой когерентности акустических полей. Это связано с физической природой их формирования высокочастотными электромеханическими системами, сложностью явлений рассеивания на поверхностях объектов различной формы, значительным влиянием условий распространения сигналов в неоднородной среде.

Другим примером является технология полунатурного комплексного моделирования газотурбинных двигателей (ГТД) и его систем [3], где обсуждается технология, которая дает возможность проведения комплексных испытаний систем управления и контроля, включая моделирование отказов, с помощью имитационных моделей двигателя, датчиков, исполнительных механизмов и самолетных систем.

В работе [4] рассмотрены основные идеи полунатурного моделирования. Разработана универсальная система для тестирования аппаратуры автоматического управления. В процессе полунатурного моделирования удачно сочетаются достоинства математического и натурного моделирования и может быть достигнуто оптимальное взаимодействие между вычислительными и натурными экспериментами. В настоящее время методы полунатурного моделирования эффективно применяют при проектировании разнообразных автоматических управляющих систем [5], в том числе полунатурных методов моделирования при проектировании сложных лазерных оптико-электронных систем. Включение реальной аппаратуры или реальных систем в контур моделирования сложных процессов позволяет уменьшить априорную неопределенность и исследовать процессы, для которых нет точного математического описания. Особое значение приобретают методы полунатурного моделирования при проектировании высокоточных оптико-электронных систем управления, работающих в динамическом режиме.

Проблема создания авиационных комплексов и их составных частей имеет комплексный научно-технический, организационный и производственный характер. Как известно, наиболее сложным, длительным, дорогостоящим и сопряженным с большим риском этапом разработки авиационной техники являются испытания и особенно – этап летных испытаний [6]. С целью сокращения длительности и стоимости этапа летных испытаний и, как следствие, всего цикла создания авиационной техники проводится этап наземных отработок и испытаний с применением полунатурного моделирования. При применении полунатурного моделирования сокращаются сроки разработки изделия, исключается вероятность появления ошибок при проектировании, а главное – исключаются опасные ситуации, которые имеют место при проектировании сложных объектов. Особенностью полунатурных методов моделирования является возможность подробного исследования режимов работы системы. С помощью модели генератора внешнего управляющего воздействия и физической модели критического элемента эти режимы могут быть исследованы во всем диапазоне возможных изменений части параметров внешнего воздействия, чего не всегда можно достичь натурными экспериментами.

В связи с вышеизложенным материалы данной статьи являются актуальными.

2. Основной материал

Интеллектуальная информационная система (ИИС), входящая в состав системы полунатурного моделирования, – это компьютерная система, состоящая из пяти основных взаимодействующих компонентов:

- языковой подсистемы (механизм обеспечения связи между пользователем и другими компонентами);
- информационной подсистемы (хранилище данных и средств их обработки);
- подсистемы управления знаниями (хранилище знаний о проблемной области, таких как процедуры, эвристики, правила и средства обработки знаний);
- подсистемы управления моделями;
- подсистемы обработки и решения задач (связующее звено между другими подсистемами).

Проектирование и создание любого прибора или комплексного устройства вне зависимости от их сложности и назначения можно разделить на следующие этапы [7]:

- постановка задачи, формулировка основных идей;
- математическое описание идеи, построение математической модели;
- аналитическое и численное исследование математической модели;
- создание макетов и необходимого вспомогательного оборудования для проведения полунатурных испытаний;
- проведение полунатурных испытаний, отработка отдельных узлов и всей системы в целом, верификация (уточнение) и корректировка основных идей и моделей;
- проведение натуральных испытаний, обработка результатов экспериментов, сравнение с требованиями технического задания на разработку устройства.

Стремительное увеличение объемов поступающей и перерабатываемой информации приводит к значительным изменениям в способах и методах анализа информации и требует внедрения эффективных методов и интеллектуальных технологий поддержки пользователем принятия решений (ППР). Как правило, системы поддержки принятия решений являются результатом мультидисциплинарного исследования, которое включает в себя теории баз данных, методов имитационного моделирования, искусственного интеллекта, ситуационного анализа и интерактивных компьютерных систем. В настоящее время нет единого общепринятого определения СППР, так как строение системы напрямую зависит от тех задач, для решения которых она используется, а также от доступных знаний, данных и информации, на основе которых принимаются решения [8].

Для решения слабоструктурированных или неструктурированных управленческих задач, с которыми достаточно сложно справиться естественному интеллекту, возникает необходимость в создании и использовании систем искусственного интеллекта для принятия решений, то есть интегрированных интеллектуальных систем управления, в состав основных компонентов которых включаются базы данных и знаний, блок решения и логического вывода, хранилище моделей и т.п. Существуют три основные цели, которые ставятся перед теорией искусственного интеллекта [8].

Результатом достижения этих целей является автоматизация деятельности ЛПР, которая позволит расширить возможности человеческого мышления и усилить его способности.

С точки зрения искусственного интеллекта, любая система, претендующая на название «система искусственного интеллекта», обязательно должна включать в себя следующие подсистемы [8]:

- подсистему ввода и распознавания информации;
- подсистему обучения, позволяющую получить новую информацию внутри системы;

- подсистему представления знаний, которая используется для накопления и хранения информации;
- подсистему целеполагания, то есть выработки целей и принятия решений;
- подсистему поддержания целостности системы;
- подсистему взаимодействия и общения;
- подсистему осуществления принятых решений.

Особенностями задач, решаемых с помощью интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР), в том числе ИСППР реального времени, являются [7]:

- сложность, а порой даже невозможность, получить полную и объективную информацию, необходимую для принятия решения, что приводит к использованию субъективной информации;
- многовариантность поиска наиболее эффективного решения поставленной задачи, необходимость применения методов правдоподобного (нечеткого) поиска решения и активного участия в нем ЛПР;
- необходимость введения новой, дополнительной информации в базу знаний, а также их коррекцию при поиске решения.

3. Базовые принципы построения интеллектуальной системы полунатурного моделирования

В общем случае можно определить базовые принципы построения ИСППР и ИСУ реального времени [8]:

1. Принцип открытости и динамичности – интеллектуальные системы учета ориентированы на открытые и динамические предметные области.
2. Принцип семиотичности предполагает, что интеллектуальная система поддержки принятия решений реального времени – это система распределенного интеллекта семиотического типа, включающая, помимо традиционных для экспертных систем модулей (базы данных и знаний, модуль ввода информации, подсистему вывода (поиска) решения), также базу моделей, интеллектуальные модули моделирования и прогнозирования проблемной ситуации, модули организации интерфейса: текстового, образного, речевого и в виде различных диаграмм и графиков.
3. Принцип адаптивности моделей представления данных и знаний, а также поиска решения, который подразумевает сохранение способности к обучению, пополнению и накоплению знаний, поддержание высокой работоспособности даже в условиях неожиданного и непредвиденного изменения свойств объекта, целей управления и т.п.
4. Принцип распределенной и параллельной обработки информации, за счет которого обеспечивается возможность проведения быстрого и качественного анализа огромного объема информации и поиска приемлемого решения в условиях жестких временных ограничений.
5. Принцип максимизации удобства и упрощения процесса взаимодействия лица, принимающего решения, с ИСППР, что достигается благодаря использованию технологии когнитивной графики и гипертекста.
6. Принцип применения адаптивного человеко-машинного интерфейса.
7. Принцип применения современной элементной базы и новых архитектурно-структурных моделей компьютерных систем для реализации принятия решений ЛПР в реальном масштабе времени.

Одним из наиболее перспективных путей построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений, систем интеллектуального анализа данных, систем управления и прогнозирования является использование современных научных разработок в теории и практике сетей, нечеткие модели и методы многокритериального выбора и логического вывода. Основное назначение информационных систем в экономике – это своевре-

менное представление необходимой информации людям, принимающим решения (ЛПР) для принятия ими адекватных и эффективных решений при управлении процессами, ресурсами, финансовыми транзакциями, персоналом или организацией в целом.

4. Основные задачи, решаемые интеллектуальной информационной системой, входящей в состав системы полунатурного моделирования

Основными задачами, решаемыми интеллектуальной информационной системой (ИИС), входящей в состав системы полунатурного моделирования, являются [9]:

1. Интерпретация данных – процесс определения смысла данных, результаты которого должны быть согласованными и корректными, предусматривает многовариантный анализ данных.

2. Диагностика – процесс соотношения объекта с некоторым классом объектов и/или обнаружение неисправности в некоторой системе.

3. Мониторинг – непрерывная интерпретация данных в реальном масштабе времени и сигнализация о выходе тех или иных параметров за допустимые пределы.

4. Проектирование – подготовка необходимых документов на создание «объектов» с заранее определёнными свойствами.

5. Прогнозирование – предсказывание последствий некоторых событий или явлений на основании анализа имеющихся данных. Прогнозирующие системы логически выводят вероятные следствия из заданных ситуаций.

6. Планирование – нахождение планов действий, относящихся к объектам, способным выполнять некоторые функции. Используются модели поведения реальных объектов с тем, чтобы логически вывести последствия планируемой деятельности.

7. Обучение – использование компьютера для обучения какой-то дисциплине или предмету. Системы обучения диагностируют ошибки при изучении какой-либо дисциплины с помощью ЭВМ и подсказывают правильные решения. Они аккумулируют знания о гипотетическом «ученике» и его характерных ошибках, в работе они способны диагностировать слабости в познаниях обучаемых и находить соответствующие средства для их ликвидации.

8. Поддержка принятия решений – это совокупность процедур, обеспечивающая лицо, принимающее решения, необходимой информацией и рекомендациями, облегчающими процесс принятия решения.

Существует много различных подходов к классификации информационных систем. Различия между этими классификациями определяются теми критериями, по которым производится классификация [9]:

- по степени структурированности решаемых задач;
- по автоматизируемым функциям;
- по степени автоматизации реализуемых функций;
- по сфере применения и характеру использования информации, в частности, по уровням управления.

Для полной реализации интеллектуальных способностей, связанных с принятием решений, планированием, прогнозом и эффективным управлением, современные и перспективные ИСППР и ИСУ должны быть реализованы с использованием новейших технологий, основанных на концепциях распределенного искусственного интеллекта, динамических адаптивных моделей знаний, параллельной обработки информации при поиске решения на основе экспертных (нечетких) моделей и методов правдоподобного вывода [10]. В этой связи представляется весьма перспективным при создании автоматизированных ИСППР, ИСУ, систем интеллектуального анализа данных и прогнозирования использовать, например, новейшие разработки в области теории и практики нечетких нейронных сетей и гибридных нейроподобных систем, нечёткие модели и методы многокритериального вы-

бора и нечёткого логического вывода. Один из вариантов структурной схемы системы полунатурного моделирования приведен на рис. 1.

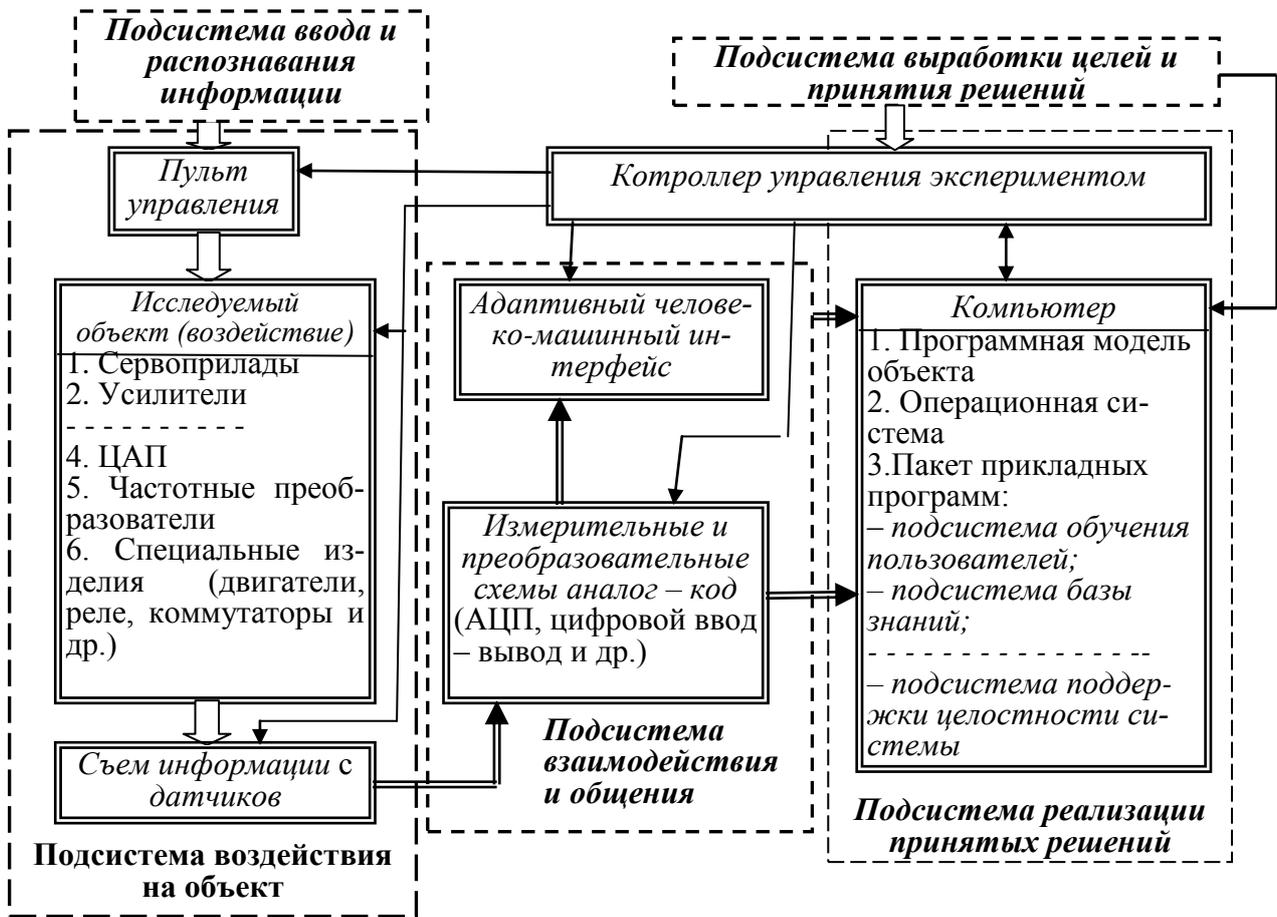


Рисунок 1 – Общий вид системы для полунатурного моделирования

При этом в качестве пульта управления могут быть использованы стандартные (или специально разработанные, например, часть кабины самолета [11]) средства, с помощью которых программная модель объекта через контроллер управления экспериментом воздействует непосредственно на объект, вызывая изменение его параметров или его месторасположение, которое далее фиксируется аналоговыми (цифровыми) датчиками различных типов. Аналоговая (цифровая) информация, снятая с этих датчиков, поступает на соответствующие измерительные и преобразовательные схемы аналог – код, на соответствующие входы компьютера (например, вход USB), где пакет прикладных программ обеспечивает реализацию либо процесса обучения пользователя, либо вход в подсистему базы знаний при реализации конкретных функций, например, с нечеткими множествами, либо обеспечивает поддержку целостности системы и др. При этом связь с оператором (лицом, принимающим решения, ЛПР) осуществляется через адаптивный человеко-машинный интерфейс, обеспечивающий адаптацию человека к параметрам системы и системы к параметрам и состоянию человека с отображением соответствующей информации на экране монитора [12].

5. Вопросы проектирования базы знаний

Важной составляющей системы полунатурного моделирования является база знаний [13]. Понятие базы знаний тесно связано с понятием предметной области. Семантика базы знаний интеллектуальной системы – это соотношение между базой знаний и описываемой ею предметной областью. Для выделения структуры базы знаний необходимо в рамках предметной области явно выделить класс исследуемых объектов, класс вторичных объектов, построенных на основе исследуемых, класс вспомогательных объектов, через связи с которыми описываются некоторые характеристики исследуемых объектов.

Структуризация базы знаний с учетом ее связи с предметной областью может быть использована для доведения процесса декомпозиции процесса проектирования на задания для различных разработчиков при условии, что они будут согласовывать ключевые узлы описываемой предметной области (так как данный процесс автоматизировать не представляется возможным). Организация процесса проектирования интеллектуальных систем осуществляется специализированной подсистемой управления коллективным проектированием. Данная подсистема является частью основной системы и разрабатывается на основе тех же методов и средств, что и основная, в задачи которой входят:

- синхронизация ветвей параллельной разработки;
- создание заданий для разработчика;
- назначение статуса задания на текущий момент времени;
- классификация заданий по приоритету;
- управление сроками выполнения заданий;
- интеграция со средствами разработки;
- управление жизненным циклом системы.

В рамках семантической технологии проектирования баз знаний выделены следующие этапы проектирования семантической модели базы знаний [13]:

- уточнение структуры описываемой предметной области – на данном этапе проводится уточнение объекта и предмета исследования описываемой предметной области, а также уточнение набора вспомогательных объектов, связь с которыми имеет существенное значение для рассмотрения исследуемых объектов;
- построение предметной области, являющейся теоретико-множественной онтологией рассматриваемой предметной области, – на данном этапе все понятия описываемой предметной области рассматриваются с точки зрения теоретико-множественных отношений между ними;
- построение предметной области, являющейся логической онтологией рассматриваемой предметной области, – систематизация всех понятий по логическим уровням, выделяемым в рамках рассматриваемой предметной области, с точки зрения анализа их определений (что и на основе чего определяется);
- построение предметной области, являющейся терминологической онтологией описываемой предметной области, – описание идентификации терминов предметной области и их этимологии;
- построение предметной области логического описания рассматриваемой предметной области – описание множества логических формул (высказываний), интерпретируемых на рассматриваемой предметной области, а также их систематизация на основе их доказательств;
- построение предметной области вопросов и информационных задач для заданной предметной области;
- построение предметной области когнитивных мультимедийных иллюстраций и библиографических источников для заданной предметной области.

Таким образом, проектирование базы знаний можно рассматривать как процесс построения некоторой исходной предметной области и процесс наращивания указанной

предметной области целым рядом надобластей, у каждой из которых есть свой класс исследуемых объектов.

На множестве предметных областей могут быть заданы следующие отношения: включение, объединение, пересечение, декомпозиция, гомоморфизм, изоморфизм, теоретико-множественная онтология, логическое описание, логическая онтология. Мы можем рассматривать некую метаобласть, объектами исследования которой являются всевозможные предметные области.

Таким образом, семантическая структура базы знаний представляет собой иерархическую систему описываемых ею предметных областей, надстраиваемых над заданной основной предметной областью.

6. Выводы

Таким образом, полунатурное моделирование – это моделирование с реальной аппаратурой, при котором часть системы моделируется, а остальная часть является реальной. Применение такого метода моделирования становится необходимым в тех случаях, когда не удается описать работу некоторых элементов системы математически. В процессе полунатурного моделирования удачно сочетаются достоинства математического и натурального моделирования и может быть достигнуто оптимальное взаимодействие между вычислительными и натурными экспериментами. Для проведения полунатурного моделирования необходимо иметь сопрягающие устройства для связи модели (ЭВМ) с внешними реальными элементами.

В настоящее время полунатурное моделирование основывается, как правило, на применении систем искусственного интеллекта (ИИС), для которых главной фундаментальной стратегической целью являются анализ и прогнозирование возможности надделения технических и компьютерных систем мыслительными функциями. Интеллектуальная информационная система (ИИС), входящая в состав системы полунатурного моделирования, – это компьютерная система, состоящая из пяти основных взаимодействующих компонентов: языковой подсистемы (механизм обеспечения связи между пользователем и другими компонентами); информационной подсистемы (хранилище данных и средств их обработки); подсистемы управления знаниями (хранилище знаний о проблемной области, таких как процедуры, эвристики и правила, и средства обработки знаний); подсистемы управления моделями; подсистемы обработки и решения задач (связующее звено между другими подсистемами).

В работе рассмотрены базовые принципы построения интеллектуальной системы полунатурного моделирования (ИСПР), а также основные задачи, решаемые интеллектуальной информационной системой, входящей в состав системы полунатурного моделирования. Важной составляющей системы полунатурного моделирования является база знаний. Понятие базы знаний тесно связано с понятием предметной области, и эта связь поддерживается на всех этапах проектирования систем полунатурного моделирования.

Предложенный вариант системы полунатурного моделирования устанавливает взаимосвязи со всеми подсистемами: подсистемой ввода и распознавания информации; подсистемой воздействия на объект; подсистемой взаимодействия и общения; подсистемой выработки целей и принятия решений; подсистемой реализации принятых решений (подсистема обучения пользователей; подсистема базы знаний; подсистема поддержки целостности системы).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Характеристика проблем и методов моделирования объектов. URL: <https://poznayka.org/s22170t1.html> (дата обращения: 10.07.2018).

2. Миргород В.Ф., Кисель А.Г., Гвоздева И.М. Полунатурное масштабное моделирование процесса формирования акустических когерентных изображений. *Труды Одесского политехнического университета*. 2006. Вып. 1 (25). С. 203–209.
3. Погорелов Г.И., Абдулнагимов А.И., Годованюк А.Г. Технология полунатурного комплексного моделирования ГТД и его систем. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2013. № 7 (104). С. 172–180.
4. Кириллов А.Г., Лютыи Е.В., Бондини С.С., Святный В.А. Полунатурное моделирование системы автоматического управления расходом воздуха в сетевом динамическом объекте с распределенными параметрами. URL: <http://masters.donntu.org/2013/fknt/liutyi/library/article1.htm>.
5. Барышников Н.В. Использование полунатурных методов моделирования при проектировании сложных лазерных оптико-электронных систем. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/166411.html> (дата обращения: 14.07.2018).
6. Погосян М.А., Поляков В.Б., Чекин М.Г. Технические средства обучения и полунатурное моделирование конкурентоспособной военной и гражданской авиационной техники. *Наука и технологии в промышленности*. 2011. № 3. С. 52–56.
7. Овчинников М.Ю., Ткачев С.С. Компьютерное и полунатурное моделирование динамики управляемых систем. 2008. № 50. 28 с. (Препринты / ИПМ им. М.В. Келдыша). URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2008-50> (дата обращения: 05.07.2018).
8. Бояркина О.О., Шкаликова А.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений. *Современные научные исследования и инновации*. 2016. № 12. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75361> (дата обращения: 07.06.2018).
9. Интеллектуальные системы. URL: http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos13_GL/2.htm (дата обращения: 10.07.2018).
10. Карелин В.П. Интеллектуальные технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений. URL: <https://ideas.repec.org/a/scn/030999/14047995.html>.
11. Кочук С.Б., Огий Е.В. Разработка комплекса полунатурного моделирования системы управления летательного аппарата. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2015. № 3 (120). С. 55–59.
12. Яковлев Ю.С., Курзанцева Л.И. Основные функции и состав обучающей smart-системы и пользовательского интерфейса. *Математичні машини і системи*. 2018. № 2. С. 56–71.
13. Давыденко И.Т. Комплексная методика проектирования интеллектуальных справочных систем, основанная на массовой семантической технологии проектирования компьютерных систем. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_13868.html (дата обращения: 13.07.2018).

Стаття надійшла до редакції 22.03.2019