

## **К ПРОБЛЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ**

**Abstract:** The article is devoted to the analysis of process of construction of intellectual systems, being based on definition of intelligence as properties of the subject, allowing structuring an environment, and then to apply the created structure to the problem solving, concerning to this environment. Definition of tasks and the problems linked to the environment is considered. Category model of the environment structure is presented. This model specifies a way of the work of intelligence in this environment.

**Key words:** intellect, task, task decision, problem, model, category model.

**Анотація:** Стаття присвячена аналізу процесу створення інтелектуальних систем, які базуються на визначенні інтелекту як властивості суб'єкта, що дозволяє йому структурувати зовнішнє середовище, а потім використовувати створену структуру для вирішення задач, які відносяться до цього середовища. Розглянуті визначення задач та проблем, пов'язаних з середовищем. Представлена категорна модель структурування середовища, яка розглядається як засіб побудови інтелекту в цьому середовищі.

**Ключові слова:** інтелект, задача, вирішення задач, проблема, модель, категорна модель.

**Аннотация:** Статья посвящена анализу процесса построения интеллектуальных систем, базируясь на определении интеллекта как свойства субъекта, позволяющего структурировать внешнюю среду, а затем применять созданную структуру для решения задач, относящихся к этой среде. Рассмотрено определение задач и проблем, связываемых со средой. Представлена категорная модель структуризации среды, представляющая способ задания интеллекта в этой среде.

**Ключевые слова:** интеллект, задача, решение задач, проблема, модель, категорная модель.

### **1. Введение**

Проблема интеллектуализации компьютерной техники и информационных технологий является одним из основных, если не основным, направлением развития методов и систем обеспечения компьютеров, тесно связанным с возможностями их будущего использования в самых разнообразных областях человеческой практики. Создание умных, интеллектуальных компьютеров определит качественный скачок на всех уровнях использования вычислительной техники, позволит человеческому обществу перейти на новый уровень своего существования, откроет новые возможности развития человеческой цивилизации.

Когда идет речь об интеллектуальных системах, то, в первую очередь, предполагается возможность построения систем, которые могли бы заменить человека, выполняющего обычную работу, не требующую решения особо сложных или уникальных задач. Нужно учесть, что для человека, работающего на заводе или в офисе, подготовка к выполнению работы достаточно трудоемка, и очень часто выполнение даже стандартной работы требует больших усилий по освоению новых систем и средств. Переход к интеллектуальным системам актуален в условиях постиндустриального общества, в котором компьютеризация становится одним из базовых элементов социальной организации.

Исследования в области искусственного интеллекта, начатые в 50-х годах прошлого века, наряду с успехами в этой области исследований, показали, что на пути создания интеллектуальных систем существуют большие трудности, и пока не найден путь их решения. Интереснейшие результаты были получены киевской школой исследователей под руководством В.М. Глушкова [1]. Обзор других направлений и результатов в области искусственного интеллекта можно найти в работах [2 – 4].

Техническое совершенство компьютерной техники достигло сейчас такого уровня, который позволяет говорить о переходе на новую ступень создания вычислительной техники – разработке

интеллектуальных компьютеров. Компьютеры проникли во все сферы жизни. Их устанавливают на бытовых приборах и автомобилях, в офисе и доме, на самолетах и ракетах, на станках и роботах. Наделенные интеллектом компьютеры не только расширяют возможности системы, в которой они используются, но и изменяют роль самих систем в жизни общества.

Кроме того, такие компьютеры станут партнерами людей в исследовательской и научной работе, преодолевая существующее в настоящий момент противоречие между объемами информации, постоянно увеличивающимися в современном мире, и ограниченностью человеческих возможностей по освоению и переработке информации, полученной в разных странах и представленной в многочисленных изданиях, включая Интернет, на форумах и конференциях.

Развитие нанотехнологий позволит встраивать компьютерные схемы в любые предметы внешней среды, упростит процессы сращивания компьютерной техники с повседневной деятельностью и человека, и технических устройств, эффективность которых будет повышена за счет наделения их интеллектом определенного уровня. Поведение таких систем должно стать осмысленным за счет выполнения ими цепочек последовательных действий, предполагающих возможность принятия решений в ходе их выполнения. Это позволит построить новые бытовые устройства, имеющие внутренние контролирующие структуры в виде компьютерной «нервной системы», которые смогут взаимодействовать с пользователем на индивидуальном уровне.

Наблюдаемое в последние годы развитие высоких технологий должно уравновесить изменение средних возрастных показателей населения в развитых странах. В частности, интеллектуальные технологии, определяя существенный скачок производительности труда, сделают относительно безболезненным возрастное уменьшение числа людей, занятых в промышленности и сельском хозяйстве этих стран. Кроме того, использование интеллектуальных компьютеров будет служить дальнейшему развитию постиндустриального общества, качественно меняя связи между членами общества, технологии их общения и социальные отношения.

Настоящая работа ставит своей целью концептуальное изложение некоторых аспектов решения проблемы интеллектуализации компьютерных систем, определение ряда задач, возникающих в связи с этой проблемой, и методов их решения. Ее актуальность определяется самой тематикой исследований по проблемам интеллектуализации компьютерных систем.

## 2. Определение интеллекта

В разных науках существуют многочисленные определения понятия «интеллект», отражающие разные стороны того, что понимается и определяется человеком как интеллект. Рассмотрим некоторые из них, объединяя определения в классы, на основе общих характеристик.

А) Определение на основе сравнения с другими понятиями.

**Интеллект** как ум, рассудок, разум, способность мыслить, устойчивая структура умственных способностей человека, набор заданных умственных функций (сравнения, абстракции, прогнозирования, создания понятий, суждений, логических выводов).

Б) Определение на основе классов выполняемых процессов.

**Интеллект** как совокупность универсальных процедур, которые позволяют строить конкретные алгоритмы решения частных творческих задач (Г.С. Поспелов). **Интеллект** определяется способностью запоминать и предвидеть различные аспекты внешнего мира, включая язык, математику, физические свойства объектов, социальные ситуации [5]. **Интеллект** – весьма общая умственная способность, которая включает возможность делать заключения, планировать, решать проблемы, абстрактно мыслить, понимать сложные идеи, быстро учиться и обучаться [6].

В) Определение на основе знаний и их использование.

**Интеллект** – это способность на основании имеющихся знаний строить модели окружающей среды и использовать их для прогнозирования будущих изменений, состояний, преобразований, поведения. Под **интеллектом системы** понимается её **способность** формировать, сохранять и использовать знания, образующие базу знаний системы, при определении её взаимодействия с внешней средой [7, 8].

Кроме этих определений, интеллект связывают с выполнением таких человеческих функций, как распознавание образов, речи, понимание естественного языка, смысла высказываний, или с моделированием функций нервной системы с помощью нейронных сетей. Например, исследуя результаты психологических экспериментов методами факторного анализа, Р. Стернберг выделил три формы интеллекта: вербальный интеллект (запас слов, эрудиция, умение понимать прочитанное); способность решать проблемы; практический или социальный интеллект (умение адаптироваться к социальной обстановке, добиваясь поставленных целей).

В этой работе интеллект определяется в связи с той средой, в которой существуют интеллектуальные субъекты, в неразрывной взаимосвязи между субъектом и средой. Под этим углом зрения рассматриваются все дальнейшие определения и построения, связываемые с интеллектом.

Введем необходимые понятия.

**Субъект (агент)** – это система, действующая во внешней по отношению к нему среде. Агент – это все то, что может рассматриваться как воспринимающее среду с помощью датчиков и воздействующее на эту среду с помощью исполнительных механизмов [2]. Понятие субъекта является более широким по сравнению с понятием агента. Во-первых, субъект может сам выбирать для себя среду. Во-вторых, он не обязательно обладает исполнительными механизмами, а иногда ограничивается процессом принятия решений, определяемых средой, или моделированием среды. По предположению субъект (агент) обладает интеллектом, рассматриваемым как особое свойство, позволяющее субъекту адаптироваться к окружающей его среде.

**Среда (мир)** – это все то окружение, в котором существует субъект, наделенный интеллектом. Среда рассматривается как пространство, в котором выделяются ее составляющие в виде объектов и отношений между ними. Одноместные отношения – это свойства объектов, а бинарные – отображения одних объектов в другие. Одновременно субъект может существовать в разных параллельных средах или мирах. Еще А. Моль [9] говорил о том, что человек погружен одновременно в мир вещей и в мир знаков, причем развитие культуры создает в мире знаков новые миры.

**Структуризация** (создание структуры среды) – это процесс моделирования, представления среды, состоящий в последовательном выделении объектов и отношений в среде. Существуют различные варианты этого процесса и различные варианты структур, определяемых одним и тем же субъектом в среде. Структуризация может быть многоуровневой, при которой объекты и отношения, выделенные на одном уровне, объединяются в некоторые классы, группы, понятия на следующем уровне. Одновременно могут возникать индуктивные связи.

Кроме того, процесс структуризации может быть адаптивным, растягиваясь во времени: по мере необходимости вводятся новые объекты и новые отношения, преобразуются и элиминируются ранее существовавшие. Такое преобразование структуры возникает при взаимодействии субъекта со средой, например, в процессе обучения или в ходе решения задач, определяемых взаимодействием субъекта и среды. Иногда структуризация охватывает только часть внешней среды, после чего задается преобразование, с помощью которого построенная структура распространяется на другие области среды.

**Интеллект** – это свойство, которым обладает субъект и которое позволяет ему виртуально структурировать внешнюю среду для того, чтобы использовать полученную структуру для адекватного восприятия, представления и моделирования этой среды, включая принятие решений при взаимодействии со средой.

Остановимся подробнее на этом определении. Виртуальная структуризация – это аналог мысленных операций, осуществляемых субъектом, воспринимающим среду. Выполняемая структуризация напрямую связана с субъектом. Она определяет его восприятие среды, его опыт, задает те рамки, правила, закономерности, которыми руководствуется субъект при взаимодействии со средой. В то же время предполагается, что осуществленная структуризация соответствует реальности, что принимаемые субъектом решения отвечают тем реальным отношениям и связям, которые существуют в среде. Сразу заметим, что вполне возможна структуризация, определяющая неадекватные решения или действия (примером могут служить эмоциональные поступки человека, противоречащие здравому смыслу). Такие решения обычно приводят к тому, что человек на каком-то шаге своих действий вступает в конфликт со средой.

Понятие адекватности является достаточно неопределенным, поскольку многое зависит от стратегической оценки принимаемых решений. Решение может быть адекватным среде на определенном временном интервале, но его ошибочность проявляется по мере накопления изменений среды, вызванном принятым решением. Это легко прослеживается, например, в процессе принятия политических решений, при которых то, что казалось очевидным в текущий момент времени, приводит к большим трудностям в последующем. В науке модели, построенные на каком-то шаге развития, в дальнейшем уточняются и изменяются. Примером может служить геометрия Эвклида, с успехом служившая людям более 2 тысяч лет, но получившая существенное развитие в работах Лобачевского, а затем и Римана.

Наконец, понятие «использование построенной структуры» предполагает возможность установления закономерностей, поиск решений задач, доказательство утверждений в пределах построенной структуры, опираясь на те понятия и связи, которые заданы этой структурой. Другими словами, если в городе, выйдя из одного дома, нужно попасть в другой, то путь пролегает по

улицам, площадям или подземным коммуникациям, уже существующим в городе. Просто ими нужно воспользоваться в необходимом порядке.

Интеллект – это свойство, ориентированное на относительно быстрое приспособление к среде. Если генетические изменения связаны с существованием нескольких поколений живых систем, существующих в постоянно, хотя и медленно меняющейся среде, то интеллект позволяет отслеживать текущие изменения, постоянно возникающие во внешней среде, и адекватно на них реагировать либо приспособиваясь к среде, либо изменяя ее. А это качество интеллекта неожиданно расширило сферу его применения, создав возможность интеллектуальных построений в средах, порожденных мышлением человека. Математика, физика, философия – все это примеры наук, в которых уже сотни лет интеллект применяется для исследования свойств виртуальных сред.

**Интеллектуальный субъект** – субъект, обладающий интеллектом. В качестве таких интеллектуальных субъектов, наряду с человеком, могут рассматриваться системы, компьютеры, роботы, информационные технологии, использующие свой интеллект для расширения области применения своих функций и совершенствования их характера.

**Искусственный интеллект** – математическая или программная реализация процесса структуризации заданной среды, ориентированная на поиск и построение решения задач или уже стоящих, или тех, которые могут быть только поставлены перед субъектом в этой среде.

Поэтому, если мы хотим построить интеллектуальную систему, нужно показать, с помощью каких механизмов, приемов, способов такая система может структурировать внешнюю среду, чтобы в дальнейшем использовать эту структуру для формирования своих реакций на действия среды и строить свое поведение в ней.

### 3. Задачи и решения

**Задачей** будем называть исходную информацию в виде множества исходных данных (условий, факторов, посылок) вместе с требованием, желанием, необходимостью получения из этой исходной информации определенных следствий или результатов. Сами данные принадлежат исходному пространству, относительно которого ясны его составляющие и операции над ними. Иначе говоря, **задача** – это данные и требование получения результата, называемого **решением** задачи и определяемого этими данными.

«Поставить задачу означает, прежде всего, понять условия задачи (т.е. удалить неполноту, избыточность и неоднозначность) или, другими словами, найти соответствующее представление» [3]. В данном утверждении неполнота, избыточность и неоднозначность – это свойства естественного языка, на котором обычно формулируется задача и которые устраняются, чтобы уточнить поставленную задачу.

С другой стороны, решение задачи – это процесс получения следствия или результата из заданных посылок. Причем из контекста изложения обычно ясно, в каком смысле используется понятие «решение». Сам процесс решения состоит в применении к исходным посылкам действий, операций, преобразований, существующих в рассматриваемом пространстве и допустимых относительно исходных данных, входящих в определение задачи (**допустимые операции**).

В зависимости от самой задачи и пространства, в котором ищется решение, процесс решения строится различными способами. Однако существуют некоторые общие варианты, подходы к представлению решений. Например, общие подходы к исследованию процесса решения задач человеком рассматривались в работах [3, 8].

Решение может задаваться в виде:

1. Некоторой последовательности или в обобщенном случае в виде дерева переходов от начальных условий к результату. Составными частями этой последовательности являются промежуточные, вспомогательные результаты, на которых основываются дальнейшие шаги процесса решения. Такие последовательности чаще всего строятся, когда предположительно известен окончательный вывод, но он должен быть подтвержден рассуждениями, формирующимися из этой последовательности.

2. Некоторого фильтра  $F$  над непустым множеством  $I$ , которое определяется исходными данными, входящими в определение задачи и допустимыми операциями [10]. Область, формируемая пересечением множеств фильтра  $F$ , рассматривается как возможная область решений исходной задачи, может быть, в определенной степени отличающихся от искомого точного решения.

3. Если исходное множество  $I$ , заданное в исходном пространстве  $R^n$ , является компактным и выпуклым множеством в  $R^n$ , а допустимые преобразования определяют непрерывное отображение  $f : I \rightarrow I$ , задающее последовательное приближение к необходимому решению, то неподвижная точка отображения  $f$  является решением задачи.

4. Решение может строиться как преобразование, модификация решений, полученных в подобных, аналогичных ситуациях. Сначала задача погружается в область похожих задач, для которых известны или могут быть получены их решения, а затем эти решения модифицируются так, чтобы получить решение исходной задачи [11]. Этот подход к решению задач, ведущий свое представление еще от Декарта, является в определенном смысле универсальным, основанным на использовании известной структуризации исходного пространства, т.е. на применении существующих знаний и опыта для решения новых задач.

Если для задачи ее исходные данные обычно достаточны для получения решения, то проблема предполагает необходимость включения в процесс решения дополнительных исследований. Эти исследования должны, во-первых, уточнить ту совокупность данных, которые необходимы для решения, во-вторых, связать проблему с уже имеющимися результатами, в-третьих, рассмотреть круг допустимых преобразований исходного пространства, – может быть, их нужно расширить или изменить.

**Интеллект** – это средство, позволяющее решать задачи, сформулированные и представленные в некотором пространстве. В обычных условиях, к которым приучен человек, существует множество таких пространств. Семья, работа, отдых, политика – это примеры различных пространств, в которых человек постоянно решает некоторые задачи. В каждом из этих пространств в зависимости от текущей ситуации человек по-разному ведет себя, решает текущие

проблемы, принимает разнообразные решения. При этом он во многом ограничен условиями того общества, коллектива, группы, в рамках которой он определяет свои действия.

*Построить интеллектуальную систему*, действующую в некотором пространстве, означает разработать условия представления информации и соответствующие алгоритмы, которые, исходя из этой информации и этих алгоритмов, дали бы возможность такой системе самостоятельно решать поставленные перед ней задачи, относящиеся к этому пространству. Если интеллект связывается со структуризацией среды, то условия представления информации – это ее наложение на ту структуру, которая создана интеллектуальной системой.

Сам процесс решения задачи интеллектуальной системой состоит из трех фаз. Первая – это формулировка задачи. Эта фаза заключается в представлении задачи в виде структурных элементов среды и связей между ними. Это – понимание задачи системой. Вторая фаза – нахождение, например, пути в существующей структуре, пути, который вел бы от объектов, рассматриваемых как условие задачи, к объектам, которые рассматриваются как ее решение. Или к промежуточным объектам, которые служат базой для поиска последующих шагов, ведущих к решению. Третья фаза – это либо оценка найденного решения, в случае использования дедуктивных, эвристических связей, либо – построение строгого решения путем перевода отдельных шагов в точные математические формулировки.

#### **4. Варианты структуризации, связь со знаниями**

**Знания** – это выделенное и оформленное задание отдельных составляющих элементов среды в их взаимосвязи друг с другом. Знания в своей совокупности по отношению к среде, к которой они относятся, формируют составляющие **структурного представления** среды. С использованием знаний сначала выполняется некоторая структуризация среды: объекты – это те понятия, которые входят в формулировку знаний, а связи между ними – определяются отношениями, составляющими знания. Эту структуризацию может использовать интеллектуальная система, решающая задачи, относящиеся к этой среде.

Например, при решении школьных алгебраических задач типа установления тождества двух выражений, содержащих тригонометрические и алгебраические выражения, знания первого уровня состоят из известных формул, выражающих связи между тригонометрическими функциями, алгебраическими выражениями, полиномиальными представлениями. Второй уровень знаний состоит из накопленных в памяти примеров решения задач, связанных с аналогичной тематикой. Третий уровень могут составлять знания, включающие более общие представления, скажем, суммы бесконечных рядов и формулы типа формулы Муавра. При этом школьные примеры ориентированы на то, что этих знаний достаточно для решения задачи. Нужно только найти подходящий порядок применения известных ученику формул.

Этот пример служит простым вариантом задания интеллекта, который получается, когда система ориентирована на имеющуюся у нее совокупность знаний, организованных в базы знаний. **Базой знаний (БЗ)** будем называть организованное множество знаний, отражающих состояния элементов некоторой внешней среды вместе с их взаимодействиями, взаимосвязями и взаимозависимостями и поддерживаемых программными и компьютерными средствами,

ориентированными на работу с этой базой. Отметим, что в случае, когда БЗ хорошо представляет среду, задавая ее основные свойства и предметы, образующие среду, определенный такой базой интеллект может быть достаточно сильным. Примером могут служить широко известные шахматные программы, конкурирующие по своим возможностям с гроссмейстерами.

Более сложные варианты интеллекта получаются, если система, ориентируясь на существующие знания и используя взаимодействие со средой, может сама выполнять структуризацию среды, выдвигать гипотезы, строить новые элементы, входящие в структуру среды, устанавливать связи между ними. Чем продуктивнее эта способность, тем выше интеллект системы относительно рассматриваемой среды. Привязка к среде здесь весьма существенна. Даже человек, успешно решающий задачи в одной среде, может оказаться неприспособленным к другой. Так, гениальный математик А. Пуанкаре писал, что «вынужден признать свою совершенную неспособность выполнить сложение без ошибки» [12].

Исходя из этих рассуждений, можно предложить следующую схему построения интеллектуальной системы, основанной на использовании знаний. *Первый этап* – это создание БЗ, содержащей опыт структуризации среды, в которой предполагается функционирование такой системы. Этот этап предполагает постоянное расширение, пополнение, исправление знаний, которые включены в БЗ. Развитие БЗ является необходимым условием адекватности интеллекта той среде, в которой работает система. Другими словами, предполагается, что БЗ создается как открытая система.

*Второй этап* – это организация взаимодействия БЗ и системы при решении задач, возникающих в среде. Поставленная задача погружается в БЗ, находя необходимое соответствие между условиями задачи и существующими знаниями. Это отдельная сложная проблема, которая не имеет однозначного решения, т.е. может решаться разными способами. Естественно, что здесь может потребоваться вмешательство человека. Но постепенно, по мере развития системы, оно будет уменьшаться, но только за счет накопления в БЗ различных вариантов установления такого соответствия. На этом этапе компьютерные системы могут использовать образное представление информации, сводя задачу поиска промежуточных решений к задаче распознавания образов.

*Третий этап* – поиск, накопление и разработка средств и методов, структурирующих среду, в которой должна решаться задача, с использованием БЗ. По сути, этот этап уже служит прямой подготовкой к решению задачи, поставленной перед системой. Сюда же относится выбор вариантов логик и дедуктивных систем, используемых при анализе связи задачи и среды, а также возможность работы с псевдофизическими логиками и выбранными дедуктивными системами. Третий этап, по сути, это этап выделения новых знаний на основе того опыта, который уже содержится в БЗ.

И, одновременно, это переход к *четвертому этапу*, состоящему в поиске и формулировке способа решения поставленной задачи на основании выполненной структуризации – разработанной и построенной структуры среды. По сравнению с человеком, который решает задачу, компьютер имеет дополнительную возможность: его объем памяти позволяет сохранять в БЗ ранее полученные решения и использовать их при построении нового варианта решения конкретной задачи.



Очень часто успешным является способ модификации, в котором алгоритм, определенный ранее полученным решением, преобразуется последовательными преобразованиями в алгоритм, применимый уже к новой задаче. Иногда в данном случае удается получить решение этой задачи. А иногда оказывается, что новая структура, которая построена в результате модификации, не совпадает со структурой, определяемой исходными данными. В этом случае вводится гипотетический элемент структуры (новая гипотеза), который позволяет решить задачу в предположении справедливости этой гипотезы. А сама задача сводится к новой задаче – доказать справедливость этой гипотезы.

Например, чтобы найти сумму ряда  $A = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2}$ , Эйлер сделал предположение, что функция  $\sin x$  имеет бесконечное число корней вида  $\{\pm k\pi \mid 1 \leq k < \infty\}$ . Тогда, используя разложение функции  $\sin x$  в ряд, он нашел, что искомая сумма ряда  $A$  равна  $\frac{\pi}{6}$ . Гипотеза Эйлера состояла в том, что он перенес известный аналог существования  $n$  корней у алгебраического уравнения степени  $n$  на уравнения, имеющие бесконечное число корней [13]. Иногда гипотезу удается доказать и решить задачу, а иногда – нет. Примером такой гипотезы может служить гипотеза Гольдбаха: любое четное число представимо как сумма двух простых чисел, поставленная в 1742 году и не решенная при всей простоте своей формулировки до сих пор.

Поэтому, наряду с задачами, существует класс **проблем**, которые рассматриваются как расширенные задачи, требующие дополнительных исследований, включая решение частных случаев, проверки существования подходящих решений для узких формулировок общей проблемы. Например, И. Виноградов в 1937 году доказал, что каждое достаточно большое нечетное число представимо как сумма трех простых чисел, приблизившись тем самым к решению проблемы Гольдбаха. Иногда проблемами называют сложные задачи, для которых даже исходные условия не могут быть сформулированы однозначно или для которых отсутствует подходящая структуризация пространства их решения. Например, сложность проблемы Гольдбаха как раз и заключается в том, что неизвестна детальная структуризация, определяющая распределение простых чисел среди всех натуральных.

В 1931 году К. Гедель доказал свою теорему о неполноте, показав, что в любой непротиворечивой формальной системе, включающей арифметику, найдется недоказуемая истинная формула. Но остается проблема: каково распределение недоказуемых формул во всем множестве формул формальной системы, существует ли для них какая-нибудь структуризация?

## 5. Компьютеры и интеллект

**Основная идея**, лежащая в основе интеллектуального расширения возможностей компьютера, заключается в том, что компьютер имеет достаточно знаний, чтобы, исходя из ситуации, в которой компьютер действует, он мог самостоятельно выполнить без вмешательства человека целый ряд последовательных действий, связанных с этой ситуацией, адекватных ей и улучшающих ситуацию.

Например, шахматный компьютер на несколько ходов вперед рассчитывает комбинацию, связанную с жертвой фигуры, а компьютер, управляющий работой атомной электростанции, в

случае возникновения угрозы предпринимает целую последовательность действий, связанных с контролем работы атомного реактора, начиная с объявления тревоги и привлечения внимания персонала к возникшей ситуации и кончая вводом дополнительных замедляющих стержней в активную зону реактора. Какие действия он должен предпринять, компьютер решает сам, в зависимости от данной им характеристики ситуации.

Общая схема, лежащая в основе интеллектуализации компьютеров, состоит в следующем. Во-первых, предполагаем, что рассматриваются компьютеры современной архитектуры, имеющие один или несколько процессоров и достаточный объем памяти. Во-вторых, предполагаем, что представления о внешней среде, в которой компьютер формулирует свои действия, задаются в виде базы знаний, которая не только адекватно представляет среду, но и содержит варианты дедуктивных систем, позволяющих оперировать с этой средой. В-третьих, интеллект рассматривается как способность структурировать среду. На основе этой структуризации компьютер формирует свои дальнейшие действия.

В этих условиях существуют следующие направления интеллектуализации.

1. Интеллектуальный компьютер (ИК) гибко настраивается на заданное ему пространство (область), в котором он должен решать задачи и строить свое поведение. Исходя из информации, заданной в базе знаний, ИК самостоятельно структурирует заданную ему область. Основываясь на этой структуризации, компьютер самостоятельно определяет свои действия или последовательности действий (поведение).

2. ИК свои решения основывает на построенной им структуре внешней среды с учетом введенных связей и зависимостей между отдельными структурными элементами среды. Предпочтение ИК отдает решениям, которые максимально учитывают предоставляемые структурой связи между элементами среды.

3. Настроившись на заданное пространство, ИК оперирует и общается с пользователем на языках, определяемых этим пространством. Настройка ИК на задачу предполагает возможность представления поставленной задачи в этих языках.

4. При взаимодействии с пользователем ИК обучается, сохраняя в базе знаний свои решения, вводя новые структурные связи и новые объекты в структурное представление среды. Кроме того, ИК пополняет дедуктивные системы, расширяя возможности прогнозирования и работы на уровне ситуаций.

5. ИК постоянно расширяет свои схемы понимания языков, на которых для него формулируются задачи и в которых он представляет эти задачи и их решения.

## **6. Категорная модель интеллекта**

Модель интеллекта, в основе которого лежит использование аппарата теории категорий, строится исходя из определения интеллекта как свойства, ориентированного на структурное представление внешней среды. Чтобы задать это представление, необходимо выделить в среде объекты (предметы, события, процессы, группы или классы объектов) и найти между ними связи (отношения, отображения, преобразования). Затем переходим к рассмотрению построенной

структуры как модели внешней среды, в которой интеллектуальный субъект ищет и принимает решения.

Пусть задана среда  $E$ . **Элементарными объектами** среды называются воспринимаемые субъектом и неделимые в рамках данной модели предметы, события, явления этой среды. Будем обозначать эти объекты символами  $a, b, c, \dots$  с индексами в случае необходимости. Например, при анализе шахмат элементарными объектами являются шахматные фигуры и пешки, а также поля шахматной доски. Отдельные свойства объектов, входящие в характеристику объекта, называются их **признаками**.

Между элементарными объектами среды, в зависимости от условий среды, существуют связи, отношения, отображения, выводы, которые в общем случае будем называть связями. Связи между объектами задаются отношениями:

- следования, порядка, включения, сравнения, принадлежности;
- зависимости, совместности, логической связи;
- управления, подчинения;
- взаимодействия, преобразования (операции), влияния.

Для каждой среды могут рассматриваться и использоваться свои виды связей. Другой вариант задания связей в среде в виде отношений приведен в работе Д. Поспелова [14]. В дальнейшем связи между объектами будут обозначаться греческими буквами  $\varphi, \psi, \omega, \dots$ .

Объекты структуры формируются из элементарных объединением в один объект нескольких элементарных объектов вместе со связями между ними, имеющих воспринимаемое субъектом целостное представление. Например, в шахматах можно рассматривать фигуру и поле, на котором она находится, как один объект. Объекты можно объединять в классы, строить новые объекты, связывая существующие объекты связями или отношениями.

Выделенное множество объектов среды  $E$  будем обозначать символом  $A$ , а множество связей между этими объектами – символом  $CA$ . Множество  $CA$  может быть расширено за счет последовательной композиции связей между собой. Множество  $CA$  называется **совместимым**, если, во-первых, для любой тройки объектов  $a, b, c$ , для которых в  $CA$  между объектами определены попарные связи  $\varphi: a \rightarrow b, \psi: b \rightarrow c$ , в множестве  $CA$  существует связь  $\theta: a \rightarrow c$ , которая является композицией связи  $\varphi$  и связи  $\psi$ ,  $\theta = \psi \circ \varphi$ . И, во-вторых, операция композиции связей ассоциативна. В-третьих, предположим, что в  $CA$  для любого объекта  $a$  существует тождественная связь объекта  $a$  с самим собой,  $1_a: a \rightarrow a$ .

Рассмотрим следующий пример задания среды. Пусть  $A$  – множество, состоящее из выражений, использующих алгебраические и тригонометрические функции. Пусть  $\Omega$  – множество тождеств, определяющих исходные преобразования (связи) в  $A$ . К  $\Omega$  принадлежат, например, равенства вида:  $x^2 - y^2 = (x - y)(x + y)$ ,  $\operatorname{tg} x \operatorname{ctg} x = 1$ ,  $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$  и т.д. Будем говорить, что  $\Omega$ -связь между объектами  $a$  и  $b$  существует, если выражение, представляющее  $a$ , может быть преобразовано в выражение, представляющее  $b$  последовательным применением операций, определяемых тождествами, входящими в множество  $\Omega$ .

Например, если выражение  $A = p(\sin^2 x + \cos^2 x)q$  представляет объект  $a$ , то от него можно перейти к выражению  $B = pq$ , используя тождество  $(1 = \sin^2 x + \cos^2 x) \in \Omega$ . Среда  $\mathfrak{X} = (A, \Omega)$  задается всеми выражениями, которые можно получить из  $A$ , последовательно применяя операции, определяемые тождествами из  $\Omega$ . Очевидно, что эти операции совместимы. **Задача** в среде  $\mathfrak{X}$  задается как пара выражений  $A, B \in \mathfrak{X}$  и требуется найти или доказать отсутствие  $\Omega$ -связи между  $A$  и  $B$ . Решение такой задачи состоит в указании последовательности, состоящей из  $\Omega$ -операций и трансформирующей объект  $A$  в объект  $B$ , или в доказательстве отсутствия такой последовательности.

Пусть  $M$  – внешняя среда, с выделенным множеством объектов  $A$  и множеством совместимых операций  $S$ , определенных существующими связями между объектами в этой среде. Определим **язык**  $L$  как множество конечных последовательностей объектов из  $A$  вида  $a_1 a_2 \dots a_n$ , называемых словом и удовлетворяющим условию: для любого  $i$  и пары объектов  $(a_i, a_{i+1})$ , входящих в слово  $\sqrt{a_1 a_2 \dots a_n}$ , существует в  $S$  такая операция  $\omega$ , что  $\omega(a_i) = a_{i+1}$ . Подъязыком  $L(\theta)$  языка  $L$ , определенным множеством операций  $\theta \subseteq S$ , называется множество слов языка  $L$ , использующим для своего формирования только операции из множества  $\theta$ .

Структурным элементом  $S(a, b)$  называется слово языка  $L$ , которое начинается объектом  $a$  и заканчивается объектом  $b$ . Соответственно,  $S(a, b, \theta)$  – это структурный элемент, являющийся словом подъязыка  $L(\theta)$ .  $L$  – структурой  $L_{a,b}^\theta = (a, b, \theta)$ , определенной объектами  $a$  и  $b$  и множеством операций  $\theta$ , называется множество всех структурных элементов вида  $S(a, b, \theta)$ , использующих операции из  $\theta$ .  $L_{a,b}^\theta = \{S(a, b, \theta) = (x_1, \dots, x_n) \mid n \geq 2\}$ . Каждый набор  $(x_1, \dots, x_n)$ , входящий в  $L$ -структуру  $L_{a,b}^\theta$ , назовем  $\theta$ -путем из  $a$  в  $b$ .

Морфизмом  $\alpha$   $L$  – структур  $L_{a,b}^\theta$  в  $L_{a',b'}^{\theta'}$  называется пара отображений  $\alpha = (p, q)$ , где  $p$  – отображение множества  $A$  в  $A$ ,  $p: a \rightarrow a', p: b \rightarrow b'$ , а  $q$  – отображение  $q: \theta \rightarrow \theta'$ , причем для любой пары объектов  $(c, d)$ , входящих в  $\theta$ -путь из  $L_{a,b}^\theta$ , коммутативна следующая диаграмма (диагр.1):

$$\begin{array}{ccc} c & \xrightarrow{\varphi} & d \\ p \downarrow & & \downarrow p \\ c' & \xrightarrow{\varphi'} & d' \end{array},$$

Диаграмма 1

где  $\varphi' = q(\varphi)$ . В силу совместимости  $S$  операции из  $\theta$  ассоциативны, и существует тождественный морфизм  $L$ -структур. Поэтому множество  $L$ -структур вместе с определенными выше морфизмами образуют категорию  $L$ -структур.

С каждым структурным элементом  $S(a, b, \theta)$  свяжем композицию операций  $\Phi_S = \varphi_{n-1} \dots \varphi_1$ , определяющих в  $S(a, b, \theta)$  переход от объекта  $a$  к объекту  $b$ . При фиксированном объекте  $a$  существует отображение  $\eta$  множества  $\theta^*$  в  $\mathbf{A}$ ,  $\eta(\Phi_S) = b$ . Это отображение назовем управлением, определяемым структурным элементом  $S(a, b, \theta)$ . Естественно, что понятие управления можно распространить на всю  $L$ -структуру.

Морфизм управлений  $\zeta: \eta \rightarrow \eta_1$  задается как пара отображений  $\langle s, t \rangle$ , для которых коммутативна следующая диаграмма (диагр. 2), в которой  $s(\Phi_S) = s(\varphi_{n-1} \dots \varphi_1) = q(\varphi_{n-1}) \dots q(\varphi_1)$ , где  $q: \theta \rightarrow \theta_1$ .

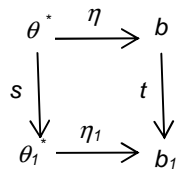


Диаграмма 2

По определению каждое управление задает решение некоторой задачи, заданной объектами  $a$  и  $b$ , а категорию управлений можно рассматривать как категорию решений задач, связываемых со средой  $M$ . Структура этой среды задается множеством объектов и операций над ними, которые определяют переход от одних объектов к другим. Эта структуризация задает соответствующий интеллект, свойства которого определяются преобразованиями решений, поскольку решение задачи в этой среде сводится к отысканию необходимого управления. Если такого управления не существует, то задача в этой среде неразрешима, хотя в действительности она может иметь решение в другой среде. Своего рода аналог теоремы Геделя о неполноте.

## 7. Заключение

Трудности проблематики, связанной с разработкой интеллектуальных систем, определяются, во-первых, разносторонностью и сложностью задач, решаемых человеком в условиях его социального и культурного положения в окружающем его мире. Во-вторых, до сих пор точно неизвестно, как человек решает возникающие перед ним задачи. Существует много гипотез и предположений, но нет окончательного результата. Вполне возможно, что интеллект воссоздается сложной многогранной, генетически заложенной в человека системой, для воспроизводства которой пока не достаточно знаний, хотя отдельные свойства интеллектуальных систем постоянно реализуются в научных исследованиях, прикладных и военных разработках. В-третьих, необходимостью накопления и формализации больших объемов информации, связанных с интеллектуальной деятельностью.

Создание интеллектуальной системы предполагает решение следующих проблем.

1. Описание и представление среды, в которой должна работать такая система, включая определение интеллекта, его свойств и особенностей по отношению к этой среде, исследование преобразований, существующих в рассматриваемой среде, ее структуры.

2. Формулировка типичных задач, при решении которых должен использоваться интеллект; понимание составляющих, входящих в формулировку задачи, смысла их компонент, сопоставление этих компонент с рассматриваемой средой.

3. Построение окрестности задачи, понимаемой как совокупность подзадач, связанных с поставленной задачей, разнообразные формулировки и представления подзадач, упрощающие их решение.

*Второй и третий пункты этой схемы могут рекурсивно повторяться много раз, пока не будет достигнут определенный уровень понимания и представления исходной задачи.*

4. Создание плана решения задачи, основываясь на решенных подзадачах. Выполнение этого плана. Результатом является процедура, позволяющая рассматривать ее как решение, если оно может быть проверено.

5. Проверка полученного решения, которое либо решает задачу, либо содержит ошибку, которую нужно устранить. Тогда весь процесс повторяется, но уже на новом уровне.

Отметим, что особенностью всего процесса создания интеллектуальных систем является их практическая направленность: все построения должны предполагать их реализуемость в виде программ, алгоритмов, систем. Именно на этом пути в ближайшие годы должен быть достигнут успех в области интеллектуализации систем, основанных на современных компьютерах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капитонова Ю.В., Летичевский А.А. Парадигмы и идеи академика В.М. Глушкова. – К.: Наукова думка, 2003. – 455 с.
2. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход / Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
3. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1991. – 568 с.
4. Резник А.М. О природе интеллекта // Математичні машини і системи. – 2008. – № 1. – С. 23–45.
5. Хокинс Д., Блейкли С. Об интеллекте. – М.: Вильямс, 2007. – 240 с.
6. Gottfredson L.S. Mainstream Science on Intelligence // Wall Street Journal. – 1994. – December 13. – P. A18.
7. Мейтус В.Ю. Интеллектуальные компоненты в системах управления производством // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – № 3. – С. 29–44.
8. Мейтус В.Ю. К проблеме интеллектуализации систем управления // Матеріали XIII Міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика – 2006). Вінниця, 25-28 вересня 2006 р. – Вінниця, 2006. – С. 466–471.
9. Моль А. Социодинамика культуры / Пер. с франц. – М.: Прогресс, 1973. – 406 с.
10. Мальцев А.И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
11. Шкурба В.В., Мейтус В.Ю. Модифицирующее моделирование – основа системы автоматизации // Автоматизация проектирования систем управления. – Ереван, 1984. – С.19–21.
12. Пуанкаре А. Математическое творчество // Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики. – М.: Советское радио, 1970. – С. 135–145.
13. Пойа Д. Математика и правдоподобные утверждения. – М.: ИЛ, 1957. – 535 с.
14. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

*Стаття надійшла до редакції 08.04.2008*