

УДК 658.012.011.56

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ\*

© 1997 г. В. Н. Захаров

Москва, ВЦ РАН

Поступила в редакцию 30.05.96 г.

Очерчивается класс специальных управляющих систем, появившихся в последние годы на стыке двух теоретических дисциплин: теории автоматического управления и теории искусственного интеллекта. Приведены основные этапы эволюции моделей автоматического управления и методов обработки знаний, на базе которых создаются управляющие системы с улучшенными динамическими характеристиками, способные к устойчивому поведению в условиях неопределенности используемой информации. Обсуждаются терминологические вопросы, связанные с особенностями используемых определений и понятий в этой относительно новой области.

**Введение.** В последние годы за рубежом существенно повысился интерес к исследованию проблем разработки прикладных интеллектуальных управляющих систем и их внедрения в промышленную и непромышленную сферы. С начала 90-х годов общее число публикаций на эту тему перевалило за тысячу и продолжает возрастать. Появились первые работы и в нашей стране (см., например, [1–4]). Сейчас уже можно говорить о становлении нового научного направления в общей теории управления – теории интеллектуального управления. По мнению экспертов, приоритет по прикладному и коммерческому использованию результатов этой теории принадлежит японским фирмам. К настоящему времени известны более 400 практических применений интеллектуальных управляющих систем.

Тем не менее, не смотря на явный отмечаемый многими авторами всплеск публикаций, освещающих теоретические и прикладные аспекты нового научного направления, в области интеллектуального управления еще нет устоявшейся терминологии и однозначного понимания существа протекающих в подобных системах процессов. Многие авторы трактуют их по-своему, используют семантически некорректные выражения и неопределенные понятия такие, как например, “элементы искусственного интеллекта”(?). Определенные трудности испытывают студенты, приступающие к изучению этой новой дисциплины (соответствующие курсы уже организованы в некоторых ведущих вузах России), в частности, не совсем ясен основной вопрос: “В чем же собственно проявляется “интеллектуальность” систем рассматриваемого класса, коль скоро они так называются?”

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 96-01-01927а).

Обсуждению этого и близких к нему вопросов посвящена данная статья. В пользу корректности применения того или иного термина приводятся доводы из многочисленных отечественных и зарубежных источников (иногда, впрочем, противоречивые). В статье отражен также личный многолетний опыт автора преподавания ряда дисциплин по проблемам искусственного интеллекта и интеллектуальных управляющих систем в МИРЭА и МФТИ. Отмечаются понятия и термины, использование которых следует по возможности избегать, несмотря на то, что они довольно часто встречаются в отечественной литературе.

**1. Краткая история вопроса.** В соответствии с классической теорией автоматического управления в тех случаях, когда речь заходит о каком-либо управлении, всегда подразумевают специальным образом организованное взаимодействие следующих двух блоков, или подсистем: объекта управления (ОУ) и устройства управления (УУ). Под ОУ подразумевается устройство, осуществляющее некий технологический процесс, которое нуждается в специально организованных воздействиях извне для эффективной реализации этого процесса. Под УУ подразумевается устройство, формирующее эти необходимые объекту управления воздействия. В тех случаях, когда как для ОУ, так и для УУ могут быть найдены свои модели, соответствующие устройства проектируются отдельно. Однако, далеко не всегда работа УУ и ОУ может быть представлена отдельными моделями. Вследствие тесной взаимосвязи (включая обратную связь) эти блоки могут оказаться неотделимыми друг от друга. В таком случае говорят об управляемом объекте (УО), или системе автоматического управления (САУ), для которой ищут единую формальную модель. В данной статье под УО понимается ОУ в совокупности с УУ,

функционирование которого описывается единой формальной моделью: УО представляется единым блоком, связанным по входам и выходам с внешней средой. При этом знания о характеристиках внешней среды (степень информированности исследователя), типах взаимосвязей и особенностях взаимодействия УО с внешней средой составляют совокупность знаний разработчика модели управляющей системы.

В традиционной теории автоматического управления УО характеризуются рядом свойств: целевым назначением, множеством состояний, управляемостью, наблюдаемостью, устойчивостью и т.д. Перечисленные свойства позволяют уточнить взаимосвязи УО с внешней средой.

Модели управляемых объектов (управляющих систем) создавались по мере возникновения требований на автоматические системы со стороны практики. Можно выделить следующие три класса моделей с учетом характера взаимодействия УО с внешним миром: 1-й класс – автономные (информационно изолированные от внешнего мира) системы, “живущие” в реальном внешнем мире и не использующие ни информации, ни воздействий (кроме, разве, возмущающих) из этого мира; 2-й класс – связанные с техническим внешним миром (информационно замкнутые через внешний мир) системы, “живущие” в техническом (формализованном) внешнем мире и перерабатывающие из него информацию; 3-й класс – информационно связанные с реальным внешним миром системы, “живущие” в естественном внешнем мире и перерабатывающие информацию из этого мира.

Системы первого класса – это те системы, для проектирования которых и создавалась теория автоматического управления (первоначально, регулирования). Объектами изучения теории автоматического управления стали регуляторы. С помощью систем такого типа решается задача поддержания (без вмешательства человека-оператора) на определенном уровне или в заданных пределах требуемых значений физических величин, характеризующих определенный режим работы объекта. УО, состоящий из регулятора и объекта регулирования, охваченных обратной связью, составляют систему автоматического регулирования (САР). Основной проблемой при построении САР явилась проблема устойчивости.

Потребность в разработке всевозможных автоматических устройств, работающих на принципах обработки дискретной информации, возникла, в частности, в связи с развитием сетей транспорта и связи. Эти и подобные им системы составили основу управляющих систем второго класса. Основная особенность систем второго класса состоит в том, что эти системы работают в дискретном времени и перерабатывают дис-

кретные сигналы, поступающие на внешние контролируемые входы. Возмущения из технического внешнего мира на УО не поступают: в техническом мире их нет (если он правильно организован).

Исследования в области анализа поведения и синтеза соответствующих моделей управляющих систем второго класса привели к становлению и развитию теории дискретных устройств и конечных автоматов, на базе которой создавались различные системы, начиная от простейших автоматов и кончая вычислительными машинами дискретного действия (не описываемыми уже в классе автоматных моделей).

Появление вычислительных машин сказалось и на развитии теории управления. Довольно скоро выяснилось, что ЭВМ представляет собой универсальный преобразователь информации, способный на нечто большее, нежели просто служить сверхбыстродействующим арифмометром. Переориентация применений вычислительных машин на выполнение функций обработки нечисловой информации послужила главной предпосылкой появления совершенно нового класса управляющих систем.

В системах третьего класса именно ЭВМ отводилась важная роль. В этих системах вычислительная машина перерабатывала лишь формализованную информацию, которая подготавливалась человеком-оператором, переводившим в общем случае невычислительные задачи внешнего мира в вычислительные, а результаты вычислений – в воздействия на окружающий мир. Так появились человеко-машинные системы (первые примеры систем третьего класса). Включение “человеческого звена” в контур управления оказывало на систему двоякое влияние. С одной стороны это давало возможность существенным образом повысить гибкость и универсальность системы становилась способной к решению широкого круга задач в условиях неполной и неопределенной информации из окружающего мира). С другой стороны это приводило к увеличению неопределенности поведения всей системы в целом из-за внесения в процесс управления непредсказуемых действий оператора, соответствующих его собственным целям и задачам. Попытка устранения субъективных признаков, связанных с присутствием человека-оператора в контуре управления системы, привела к постановке задачи формализации работы этого вносящего существенную неопределенность в работу системы звена. Какие только усилия не предпринимались с этой целью (использовались дифференциальные и логические уравнения, модели состояний, игровые подходы и пр.) – все оказалось напрасным. Первые обнадеживающие результаты появились благодаря исследованиям, связан-

ным с созданием машинных программ, имитирующих творческую деятельность человека, разрабатываемых в рамках нового научного направления, получившего в дальнейшем название “искусственный интеллект”. Главной прикладной областью искусственного интеллекта стала разработка всевозможных систем, ориентированных на обработку и использование знаний о той проблемной области, в которой решалась та или иная задача (так называемых интеллектуальных систем), что и позволило в дальнейшем окончательно сформулировать концепцию интеллектуальных управляющих систем.

В последние годы в рамках общего научного направления искусственный интеллект активно ведутся исследования под объединенным названием “многоагентные системы” [5]. Под “агентом” подразумевается некая сущность, находящаяся в некоторой среде, из которой она получает информацию о событиях (внешних ситуациях) в этой среде и формирует соответствующие воздействия на эту среду. В теории многоагентных систем главными задачами являются разработка архитектур самих агентов и организация взаимодействия между многими агентами и между отдельными агентами и средой. Нетрудно видеть, что эти задачи как-то перекликаются с обсуждаемыми в данной статье вопросами. По-видимому теория интеллектуального управления еще сыграет свою роль в теории многоагентных систем.

**2. Предпосылки создания интеллектуальных управляющих систем.** Впервые понятие “интеллектуальная машина”, или “интеллектуальная система” возникло, по меньшей мере, два десятка лет тому назад. В начале семидесятых годов под этим термином подразумевалась система, реализующая “антропоморфные функции”. Однако поскольку до сего времени эти функции никто не попытался выделить или уточнить, это определение оказалось неконструктивным, так как из него никоим образом не следовали хоть какие-нибудь намеки на организацию или особенности функционирования интеллектуальной системы. С течением времени развитие таких разделов искусственного интеллекта, как инженерия знаний, компьютерная логика и лингвистика, когнитивная психология, методы поиска и принятия решений, модели обучения и др. создали теоретическую основу для создания высокоэффективных программных систем по обработке и использованию знаний для решения целого ряда прикладных задач, включая системы, моделирующие творческие возможности человека. Такие системы и стали называть “интеллектуальными” и сегодня понятие “интеллектуальная система” и “система, ориентированная на обработку и использование знаний» являются синонимами. Именно “интеллектуальные системы”, а не “системы искусственного интеллекта”, как очень часто говорят и

пишут, поскольку, как указывается в [6], “искусственный интеллект” есть ничто иное как языковая метафора, заменяющая название обширному научному направлению, не поддающему до сего времени точному определению и связанному с исследованием теоретических проблем обработки и использования знаний в слабо формализуемых областях. Поэтому словосочетание “система искусственного интеллекта” так же безлико, как выражение “система физики” или “система кибернетики”. А словосочетание “система с элементами искусственного интеллекта” вовсе вызывает подозрение, а не лукавит ли автор, поскольку общепринятого определения указанным элементом на сегодняшний день не существует. По аналогии с “физическими системами”, “кибернетическими системами” и т.п. логичнее употреблять термин “интеллектуальные системы”, а применительно к области управления – термин “интеллектуальные системы управления”.

Интеллектуальные системы в последнее время становятся весьма распространенным коммерческим продуктом, находящим широкий спрос пользователей-специалистов в самых разнообразных областях инженерно-технической и научно-технической сфер деятельности. Концептуальная архитектура любой интеллектуальной, в частности, экспертной системы общеизвестна и содержит следующие основные блоки: базу знаний с развитыми механизмами вывода на знаниях, интеллектуальный решатель (формулирующий постановку и общий план решения задачи), интеллектуальный планировщик (формирующий конкретный план решения задачи), систему объяснения и интерфейс с пользователем. Интеллектуальные системы могут существенным образом различаться по архитектуре и выполняемым функциями, но в них всегда в той или иной мере присутствуют указанные блоки.

По мере совершенствования систем, ориентированных на хранение, пополнение, обработку и использование знаний, стали создаваться системы, в которых результаты принятия решений приближались по качеству к решениям, принятым человеком-оператором, а по скорости получения решений существенно превышали время реакции человека (особенно в непредсказуемых и непредвиденных ситуациях). Возникла идея активизировать деятельность таких систем путем включения в их состав специальных дополнительных блоков формирования управляющих воздействий на основе принятых решений. Такие интеллектуальные системы, непосредственно подключенные к объекту, получили название “активных” систем, в частности “активных экспертных систем”.

Строго говоря, активная экспертная система, с точки зрения новых выполняемых ею функций,

уже не является экспертной, т.е. только систем-советчиком. Таковой она являлась по архитектуре как содержащая перечисленные выше блоки. В активных экспертных системах блок интерфейса с пользователем естественным образом заменяется на блок интерфейса с объектом управления.

Следующим немаловажным фактором, заставившим исследователей обратить свое внимание на возможность создания специальных моделей интеллектуальных управляющих систем, послужило развитие аппаратных средств поддержки процессов, протекающих в интеллектуальных системах. Первоначально с целью ускорения процессов обработки знаний, а позже и с целью удобства разработок и снижения сроков создания интеллектуальных систем в их составе стали появляться аппаратно реализованные блоки, осуществляющие некоторые или главные функции системы. Можно выделить три основные группы таких средств: спецпроцессоры поддержки языков программирования высокого уровня (типа Лисп, Пролог, Рефал и др.); спецпроцессоры для интеллектуальных баз данных и баз знаний (в том числе для вывода на знаниях); спецпроцессоры для интеллектуального интерфейса (обработки изображений, текстов и речи). Отдельную группу составляют всевозможные аппаратно реализованные средства обработки лингвистической, в том числе, нечеткой информации (нечеткие процессоры). Интеллектуальные системы с такими блоками в своем составе получили название «систем с развитыми средствами аппаратной поддержки». Из всех типов интеллектуальных систем наибольшее распространение в сфере управления получили экспертные системы, выступающие в роли советчиков оператору, выполняющему функции взаимодействия с внешним миром. С появлением экспертных систем с развитыми средствами аппаратной поддержки, способных оказать интеллектуальную помощь управленцу не хуже, чем специалист-эксперт, заканчивается начальный период исследований возможностей построения систем третьего класса, в составе которых человек использовался как (некое весьма специфическое) звено управления, формализовать работу которого так и не удалось разработчикам. Особенно пригодными для целей технического управления оказались так называемые открытые системы, т.е. системы, способные с течением времени совершенствовать свое поведение благодаря заложенным в них алгоритмам обучения. Общесистемный подход к решению задачи проектирования таких интегрированных систем привел к формированию нового научного направления – теории многоагентных интеллектуальных систем, возникшему на стыке многих упоминавшихся выше научных дисциплин.

Основным предметом исследований в теории интеллектуальных управляющих систем явилась разработка конкретных структур в рамках общей концепции архитектуры системы, претендующей на интеллектуальное поведение при решении различных задач. Один из первых вариантов концептуальной архитектуры интеллектуальной машины опубликован в [7]. Здесь под архитектурой интеллектуальной машины подразумевается иерархическая структура, состоящая из трех обобщенных уровней, упорядоченных в соответствии с неким базовым принципом, считающимся в теории интеллектуальных машин фундаментальным. Принцип имеет аббревиатуру IPDI (Increasing Precision with Decreasing Intelligence). Принцип сформулирован Саридисом (Saridis) [7] в 1989 г. и означает, что по мере продвижения к высшим уровням иерархической структуры повышается интеллектуальность системы, но снижается ее точность и наоборот. Важно отметить, что под «интеллектуальностью» системы здесь подразумевается ее способность работать с базой внешних событий, или ситуаций, с целью привлечения неких специальных знаний, позволяющих уточнить предложенную задачу и наметить пути ее решения, под «неточностью» – неопределенность в выполнении операции по решению задачи. Каждому из уровней (которые, в свою очередь, могут быть многоуровневыми) соответствует специальная подсистема, реализующая перечисленные ниже функции, характерные для этого уровня. Так, например, на верхнем уровне структуры имеется основанный на знаниях организатор, промежуточному уровню соответствует основанный на знаниях координатор, а самому нижнему уровню – система управления аппаратными средствами, решающими сведенную к конкретным алгоритмам поставленную задачу.

Попытаемся теперь расширить смысл понятия «интеллектуальность» по сравнению с толкованием Саридиса с целью более четкого определения класса интеллектуальных управляющих систем. Прежде всего коснемся вопроса их структурной организации.

**3. Принципы организации интеллектуальных управляющих систем.** Рассмотрим некий класс управляющих систем, которые соответствуют следующим пяти принципам организации управляющей структуры<sup>1</sup>.

**Первый принцип.** Наличие тесного информационного взаимодействия управляющих систем с реальным внешним миром с использова-

<sup>1</sup> Эти принципы и последующие два определения впервые доложены автором в феврале 1992 г. на семинаре в МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, посвященном проблемам разработки интеллектуальной системы управления аппаратом искусственной вентиляции легких, и в дальнейшем уточнены в [8].

нием специально организованных информационных каналов связи.

**Второй принцип.** Принципиальная открытость систем с целью повышения интеллектуальности и совершенствования собственного поведения.

**Третий принцип.** Наличие механизмов прогноза изменений внешнего мира и собственного поведения системы в динамически меняющемся внешнем мире.

**Четвертый принцип.** Наличие у управляющей системы многоуровневой иерархической структуры, построенной в соответствии с правилом: повышение интеллектуальности и снижение требований к точности по мере повышения ранга иерархии в системе (и наоборот).

**Пятый принцип.** Сохраняемость функционирования (возможно, с некоторой потерей качества или эффективности, иначе, с некоторой деградацией) при разрыве связей или потере управляющих воздействий от высших уровней иерархии управляющей структуры.

Прокомментируем смысл выделенных пяти принципов, отметив тем самым их исключительную важность с точки зрения оценки поведения интеллектуальных управляющих систем.

Первый принцип подчеркивает непосредственную связь интеллектуальных управляющих систем с внешним миром. Находясь в непрерывном взаимодействии с внешним миром, интеллектуальные системы получают из него всю необходимую информацию для принятия решений и пополнения знаний. Сама управляющая система, в свою очередь, может оказывать на внешний мир непосредственное активное воздействие в результате реализации собственного поведения. Модель знаний о внешнем мире интеллектуальной системы должна предполагать в этом смысле возможность изменений внешнего мира и знаний о нем в результате собственных на него воздействий. Выполнение принципа информационного взаимодействия системы с внешним миром означает, что никакие упрощенные модели типа моделей состояний, вероятностных описаний, игр автоматов со средой и т.п. для представления событий реального внешнего мира не пригодны. Именно в этом и состоит принципиальное отличие управляющих систем рассматриваемого класса.

Принципиальная открытость систем в соответствии со вторым принципом (с целью повышения интеллектуальности и совершенствования собственного поведения) обеспечивается наличием таких уровней высшего ранга в иерархической структуре, как самонастройка, самоорганизация и самообучение. Система знаний интеллектуальной управляющей системы состоит из двух частей: постоянных (проверенных) знаний, которыми система обладает и постоянно пользуется, и

временных (проверяемых) знаний, в которых система не уверена, с которыми она экспериментирует в процессе обучения. Знания второго типа либо отбрасываются системой, либо переходят в знания первого типа в зависимости от результатов анализа своего поведения во внешнем мире. Выполнение второго принципа требует организации в управляющей системе процесса приобретения и пополнения знаний.

В соответствии с третьим принципом управляющую систему нельзя считать в достаточной мере интеллектуальной, если она не обладает возможностью прогноза изменений самого внешнего мира и собственного в нем поведения (в динамически изменяющемся внешнем мире). Система без прогноза (функционирующая именно в динамически меняющемся внешнем мире) может попасть в критическую ситуацию, из которой не сможет найти выхода из-за временных ограничений на работу механизмов формирования управляющих воздействий, определяющих ее поведение, адекватное сложившейся ситуации. Примером могут служить автономно функционирующие интеллектуальные робототехнические системы в экстремальных ситуациях.

Четвертый принцип позволяет наметить пути построения моделей сложных управляющих систем в тех случаях, когда неточность знаний о модели УО или его поведении можно компенсировать за счет увеличения числа уровней интеллектуальности (см. ниже), а также за счет использования совершенных механизмов принятия решений в условиях неопределенности в соответствующих алгоритмах управления создаваемых систем.

И наконец, пятый принцип устанавливает лишь частичную потерю интеллектуальности, но не прекращение функционирования при отказах в работе высших уровней иерархии системы. Сохранение автономного функционирования в рамках более простого (автоматного) поведения системы, характерного для нижних уровней структуры управления, также чрезвычайно важно для автономно функционирующих систем в реальном внешнем мире. Примером могут служить те же интеллектуальные роботы.

Приведенные пять принципов организации структуры интеллектуальной управляющей системы определяют класс исследуемых управляющих систем. Можно уточнить теперь само понятие "интеллектуальность управляющей системы", а также ввести понятие степени (или уровня) интеллектуальности.

**4. Общая концептуальная структура интеллектуальной управляющей системы. Определение степени интеллектуальности.** Приведем основные определения, необходимые для формализации описания исследуемых понятий.

**Определение 1.** Управляющие системы, организованные и функционирующие в соответствии со сформулированными пятью принципами (в полном их объеме), называются управляющими системами, обладающими свойством “интеллектуальности в большом”.

Из определения 1 следует, что системы, обладающие свойством “интеллектуальности в большом”, должны иметь многоуровневую иерархическую структуру со следующими уровнями (в порядке понижения ранга): уровень самоорганизации (самоперестройки по результатам обучения); уровень обучения; уровень прогноза событий; уровень адаптации; уровень формирования решений; уровень работы с базами событий и знаний; уровень планирования операции по реализации сформированного решения; исполнительный уровень. Каждый из перечисленных уровней имеет свою функциональную специфику и в реальной системе может состоять из нескольких подуровней. При этом на самом нижнем исполнительном уровне обычно используются традиционные модели САУ. Все остальные уровни более высокого ранга можно рассматривать как надстройку над традиционными управленческими моделями, отвечающую требованиям современной информационной технологии работы со знаниями, существенно расширяющую возможности этих моделей. Минимальная настройка может содержать всего лишь базу знаний, состоящую из нескольких продукционных правил. В этом простейшем случае могут отсутствовать уровни принятия решений и планирования (или функции этих уровней могут быть совмещены с функциями обработки нескольких правил).

Как нетрудно видеть, определение 1 позволяет установить связи с основными понятиями традиционной теории управления, используя разработанные в ней методы при построении интеллектуальных управляющих систем.

**Определение 2.** Управляющие системы, структурно не организованные в соответствии с приведенными выше пятью принципами, но использующие при функционировании знания (например, в виде правил) как средство преодоления неопределенности входной информации, модели управляемого объекта или его поведения, называются управляющими системами, обладающими свойством “интеллектуальности в малом”.

Определение 2 соответствует общепринятому определению интеллектуальной системы как системы, ориентированной на обработку знаний с целью поиска решения задачи. Определения 1 и 2 устанавливают границы уровней интеллектуальности управляющих систем. Степень интеллектуальности управляющих систем внутри этих границ можно определить по наличию или отсутствию тех или иных уровней, введенных выше.

Введение понятий уровней интеллектуальности системы управления непосредственно связано с традиционными вопросами разработки шкал оценок функциональных возможностей систем управления. Рассматриваемые уровни интеллектуальности образуют неравномерную частично упорядоченную последовательность на шкале оценок функциональных возможностей САУ, зависящих от целей управления, сложности и неопределенности ОУ. Это позволяет поставить задачу разработки методологии проектирования САУ с различной степенью (уровнями) интеллектуальности, где под уровнем интеллектуальности можно также подразумевать различные средства борьбы с недоопределенностью либо самого объекта управления, либо его поведения в непредсказуемом динамическом внешнем мире.

Итак, возвращаясь к поставленному во введении вопросу, можно заключить, что интеллектуальные системы управления могут вовсе и не обладать какой бы то ни было “интеллектуальностью” в общепринятом смысле. Это прежде всего, класс систем, строящихся с применением новой информационной технологии (обработки и использования знаний). Такой подход к проектированию управляющих систем позволяет в ряде случаев существенно повысить динамические характеристики создаваемой системы путем лингвистической аппроксимации поведенческих характеристик управляемого объекта. Более того, мы можем вовсе отказаться от организации традиционной обратной связи в САУ, если нам удастся адекватным образом представить ее работу с помощью знаний на основе определенных правил. В этом случае мы получим интеллектуальный регулятор, обратная связь которого организована с использованием базы знаний (об особенностях его поведения) и механизмов вывода на знаниях. В качестве примера можно указать на известные исследования по поддержанию в равновесии перевернутого маятника с помощью нечетких правил. Насколько такой регулятор будет работать лучше или хуже традиционного зависит только от того, насколько хорошо или плохо нам удалось описать с помощью правил работу обратных связей. Если аппроксимация нам не удалась, интеллектуальный регулятор будет иметь худшие динамические характеристики по сравнению с обычным (например, ПИД-регулятором).

В системах управления, интеллектуальных в большом, “интеллектуальность” проявляется в таких аспектах, как управление неопределенностью, обучение и адаптация. Это сложные системы с многоуровневой иерархической структурой, способные к формированию адекватных сложнейшей ситуации решений в условиях неопределенности используемой информации. Как указывалось в [6], вся история развития искусственного интеллекта связана, в основном, с попытками

разработки наиболее совершенных методов и средств управления неопределенностью. Так на заре развития искусственного интеллекта исследовались лишь методы представления и манипулирования знаниями. Следующий этап развития характеризуется исследованиями в области достоверного логического вывода с использованием знаний (резольвционного, в аксиоматических системах, с использованием аналитических таблиц и т.п.). От доказательного логического вывода исследователи перешли к анализу применимости методов рассуждений, включившим механизмы управления выводом. Попытки решения задач в плохо формализуемых предметных областях привели к развитию методов правдоподобных и приближенных рассуждений (абдуктивных, индуктивных, нечетких, на примерах, на основе здравого смысла, по аналогии и т.п.). Разработанные к настоящему моменту соответствующие модели и методы вывода в условиях неопределенности используемой информации могут найти применение на самых верхних уровнях формирования решений в иерархии интеллектуальных управляющих систем. Логично предположить, что в интеллектуальных системах управления ближайшего будущего смогут найти применение и такие механизмы поддержки принимаемых решений, какими являются аргументация и обоснование [6]. Соответствующие модели пока не получили широкого распространения в управлении, хотя попытки их использования в интеллектуальных советующих системах предпринимались, и, судя по высказываниям авторов [6], им принадлежит большое будущее.

Что же касается обучения и адаптации управляющих систем, то к настоящему моменту широкое распространение получили методы эволюционного моделирования на базе нейронных сетей, настраиваемых с помощью генетических алгоритмов. Концептуальная модель, организованная с использованием в контуре обратной связи базы нечетких правил, нечеткого вывода и двух блоков: фазификатора (переводящего четкие значения входов в лингвистические значения) и дефазификатора (выполняющего обратное преобразование) совместно со средствами обучения на базе нейронной сети, составляет основу схемы так называемых “мягких вычислений” (“soft computing” – термин Л. Заде [9]). Эта схема уже нашла широкое применение в ряде промышленных разработок интеллектуальных управляющих систем.

Наиболее простым способом описания поведенческих характеристик объекта управления в последнее время стало применение нечетких продукционных правил с соответствующими механизмами нечеткого вывода. В технических системах точные значения сигналов с датчиков подаются на фазификатор, а точные значения

управляющих воздействий на объект поступают с дефазификатора. Системы управления, построенные по этой схеме, получили название “нечетких систем управления”. В соответствии с определением две нечеткие системы управления относятся к системам управления, интеллектуальных в малом. Это чрезвычайно важный и наиболее распространенный подкласс интеллектуальных систем управления. Приоритет в разработке нечетких систем принадлежит японским ученым [10].

В тех случаях, когда в силу наличия большой степени неопределенности поведенческих характеристик объекта управления или внешней среды лингвистическая аппроксимация с использованием нечетких продукционных правил становится недостаточной, в структуру системы управления вводят дополнительные уровни, отмеченные выше. Таким образом можно построить систему с более высоким уровнем интеллектуальности, или с более развитыми средствами борьбы с неопределенностью используемой информации. В системах управления, интеллектуальных в большом, на верхних уровнях управляющей структуры используются, как правило, экспертные системы, в состав которых могут быть включены такие механизмы правдоподобного вывода на знаниях, как вывод по аналогии, на основе здравого смысла и т.п. В системах такого уровня интеллектуальности могут быть автоматически сформулированы решения, вполне приемлемые в сложившейся ситуации, но неожиданные даже для экспертов. Вопрос о том, следует ли такой уровень принятия решения включать непосредственно в контур управления, остается открытым. Однако, в качестве советующих подсистем эти уровни принятия решений несомненно полезны.

**Заключение.** Теория интеллектуального управления – сравнительно молодая, перспективная и быстро развивающаяся область знаний. Сфера применения прикладных интеллектуальных управляющих систем непрерывно расширяется. Капиталовложения промышленно развитыми странами в исследования и разработку опытных образцов интеллектуальных систем управления исчисляются миллиардами долларов. Такая интенсификация разработок и соответствующих материальных затрат основана на тщательном планировании и анализе потребностей рынка. Подготовка специалистов в области проектирования интеллектуальных управляющих систем – неотложная задача сегодняшнего дня.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев А.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные системы автоматического управления // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1994. № 5.
2. Лебедев Г.Н., Лохин В.М., Мадыгулов Р.У. и др. Развитие технологии экспертных систем для уп-

- правления интеллектуальными роботами // Изв. РАН. Техн. кибернетика. 1994. № 6.
3. Валаев Г.Н., Войцекян В.А., Захаров В.Н. и др. Ре-конфигурируемая вычислительная среда в интел-лектуальной системе управления автономным ЛА // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1995. № 4.
  4. Zakharov V.N., Kantor P.S., Lopashov V.I. et al. Intelli-gent systems of control of apparatuses for artiuficial ven-tilation of the lungs. I. Principles of construction // J. computer and system sciences international. 1996. V. 35. № 1.
  5. Городецкий В.И. Многоагентные системы: совре-менное состояние исследований и перспективы применения // Новости искусственного интеллек-та. 1996. № 1.
  6. Будущее искусственного интеллекта / Под ред. К.Е. Левитина и Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1991.
  7. Saridis G.N. Analytical formulation of the principle of increasing presicion with decreasing intelligence for in-telligent machines // Automatica. 1989. № 3, 25.
  8. Zakharov V.N. and Ulyanov S.V. Fuzzy models of intel-ligent industrial controllers and control systems. II. Evo-lution and principles of design // J. computer and system sciences international. 1995. V. 33. № 2.
  9. Zadeh L. Fuzzy logic, neural network and soft comput-ing // Communications of the ACM. 1994. V. 37. № 3.
  10. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Тэра-но, К. Асаи, М. Сугено. Пер. с японск. М.: Мир, 1993.