

## ПРИНЦИПЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

д.т.н. Сироджа И. Б., к.т.н. Соколов А. Ю.,  
асп. Слисаренко Н. Н., асп. Джелла Н. А.,  
асп. Прохоров С. А.

### Введение

Последние три десятилетия наблюдается становление нового направления в теории управления - нечетких моделей интеллектуальных регуляторов и систем управления (ИСУ) [1-9]. С 1980 г. параллельно с теоретическими исследованиями интенсивно ведутся работы по практическому внедрению нечетких регуляторов, ИСУ и экспертных систем в промышленную и непромышленную сферы [2-6]. Приоритет по практическому коммерческому использованию результатов теории нечетких интеллектуальных моделей управления принадлежит японским фирмам [1,7-9].

Капиталовложения в исследования и разработку опытных образцов в этом направлении распределяются (в миллиардах американских долларов) следующим образом [6]:

Япония - 2, США - 0.8, Европа - 1 в 1995 г.

Полученные в Японии экономический эффект и технический прогресс от внедрения ИСУ дали толчок прикладным исследованиям в Западной Европе, США, Китае. Одна из ведущих японских фирм по производству нечетких процессоров и контроллеров (Omron Tafeitsy Electronics Co., Tokyo) в 1994 г. реализовала коммерческих моделей нечетких процессоров на сумму более 700 млн. долларов США [10]. Такая интенсификация разработок и соответствующих материальных затрат свидетельствует об актуальности, важности и практической ценности исследований в сфере создания и внедрения ИСУ нечетких регуляторов.

В данной работе изложена и физически обоснована принципиальная концепция общей организации, а также методология построения ИСУ на основе использования



предложенного в [11] метода многоуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия решений в условиях неопределенности.

### Принципы организации ИСУ

Опираясь на логико-эмпирический анализ опыта функционирования сложных управляющих систем, содержащих в контуре управления человека-оператора и использующих его знания для принятия решений, сформулируем следующие принципы организации интеллектуальных систем управления.

1. Иерархичность структуры ИСУ, обеспечивающая повышение интеллектуальности и снижение точности управления с увеличением ранга уровня иерархии согласно фундаментальному принципу Саридиса [1,6].
2. Взаимодействие ИСУ с реальным внешним миром для получения необходимой информации (знаний) через каналы связи.
3. Квантование знаний как содержательных структур данных - порций информации для обеспечения возможности алгоритмического манипулирования знаниями.
4. Открытость и способность ИСУ к самосовершенствованию посредством имеющихся иерархических уровней самонастройки, самоорганизации и самообучения.
5. Способность ИСУ к прогнозированию изменений внешнего мира и собственного поведения в динамическом внешнем мире, чтобы избегать возможной полной собственной деградации.
6. Сохраняемость функционирования (возможно с некоторой деградацией) при отказах высших уровней иерархии.

Обоснуем необходимость и полноту сформулированных принципов 1-6 с позиции информационно-термодинамического анализа эволюции поведения управляемого объекта.

Термодинамический анализ эволюции динамических систем показал [12], что оценки корректности, динамической устойчивости, физической реализуемости и развития (деградации) управляющей системы непосредственно связаны с оценкой производства энтропии и энтропийным обменом с внешней средой. Так, для изолированной от внешней среды динамической системы



выполняется строгое соотношение между производством энтропии  $S$  и функцией Ляпунова  $V$  :

$$\sigma = \frac{dS}{dt} = -\frac{1}{\Gamma} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

где  $\Gamma$  - нормирующий множитель.

Другими словами, движение динамической системы порождает производство энтропии (форма информации), а изменение формы порождает новое движение, для которого требуется выполнение условий устойчивости по Ляпунову ( $\frac{dV}{dt} < 0$ ) и второго закона термодинамики ( $\sigma > 0$ ). Следовательно, принципы 2, 3 и 4 организации ИСУ и критерий (1) указывают на необходимость наличия открытости ее структуры и обмена информацией с внешней средой для устойчивой работы знаниеориентированной управляющей системы.

Если рассматривать динамическую систему с управляемым энтропийным обменом, то в простейшем случае [12] они описываются :

уравнением движения

$$\dot{X} = \Phi_k(x_1, \dots, x_n, S), \quad S = S_{\text{пр}} - S_o \quad (2)$$

где  $S_{\text{пр}}$  - энтропия, произведенная изолированной системой,

$S_o$  - энтропия обмена динамической системы с внешней средой как физический аналог процесса извлечения знаний из внешнего мира,

уравнением производства энтропии

$$S_{\text{пр}} = \Psi(x, \dot{X}, S); \quad (3)$$



уравнением скорости энтропийного обмена

$$\dot{S}_0 = F(x, \dot{X}, S). \quad (4)$$

Для системы уравнений (2)-(4) функция Ляпунова имеет вид

$$V = \frac{1}{2} \cdot \left( \sum_{i=1}^n \chi_i^2 + S^2 \right). \quad (5)$$

Тогда для открытой в термодинамическом смысле системы (2)-(5), согласно [12-14] условия устойчивости, запишем так

$$\frac{dV}{dt} = \sum_{i=1}^n \phi_i \chi_i + (S_{\text{пр}} - S_0) \cdot (\Psi - F). \quad (6)$$

Из (6) непосредственно следует физическое обоснование необходимости и достаточности выполнения принципов 1-6. Действительно, принципы 2, 4 и 5 свидетельствуют о необходимости наличия открытости системы (6) и обмена информацией ИСУ с внешней средой. Нарушение взаимосвязи в системе (2)-(4), может быть скомпенсировано согласно принципу иерархичности 1 без нарушения критерия устойчивости (6) за счет перераспределения скорости или количества обмена информацией (принципы 3, 6) в оставшихся связях иерархической структуры ИСУ.

Таким образом, суть концепции общей организации ИСУ состоит в определении управляющих систем как интеллектуальных "в малом" и "в большом" на основе степени соответствия их структуры и функционирования сформулированным 6-ти принципам.

Определение 1. Системы управления, полностью организованные и функционирующие в соответствии со всеми 6-ю принципами, называются ИСУ "в большом".

Определение 2. Системы управления, использующие при функционировании знания, но не полностью удовлетворяющие 6-ти принципам, называются ИСУ "в малом".

Степень интеллектуальности ИСУ внутри границ "в большом" и "в малом" можно определить по наличию или



отсутствию определенных уровней. ИСУ "в большом" должны иметь многоуровневую иерархическую структуру со следующими уровнями убывающего ранга: обучение, самоорганизация, прогноз событий, манипулирование с БД и БЗ, формирование решений, планирование действий для реализации решения, адаптация; исполнительный уровень, где используются традиционные модели САУ. На рис. 1 показана структурная схема развития моделей управляющих систем с организованным и координационным уровнями интеллектуальности, связанными с самым нижним - исполнительным уровнем.

### **Методология построения ИСУ (МАКЗ-методология)**

На основе сформулированных принципов организации ИСУ разработана методология их создания на базе использования многоуровневых алгоритмических квантов знаний [11] (МАКЗ-методология).

Предлагаемая МАКЗ-методология базируется на описанных ранее концептуальных положениях организации и функционирования ИСУ и процедурах выбора средств интеллектуализации для решения задачи обеспечения требуемого динамического поведения САУ в случае, когда средства улучшения динамики системы не пригодны. При этом с целью преодоления неопределенности информации о внешнем мире или об управляемом объекте предлагается использовать средства манипулирования четкими и нечеткими алгоритмическими квантами знаний [11].

Основу МАКЗ-методологии проектирования ИСУ с различными уровнями интеллектуальности составляют методы имитационного моделирования, обучения и самообучения с использованием МАКЗ-моделей принятия решений [11], позволяющих сформировать специальную базу знаний (БЗ) принятого интеллектуального уровня.

Общая структура и содержание МАКЗ-методологии иллюстрируется на рис. 2. Каждый из выбранных на II этапе вариантов согласования исполнительных и интеллектуальных



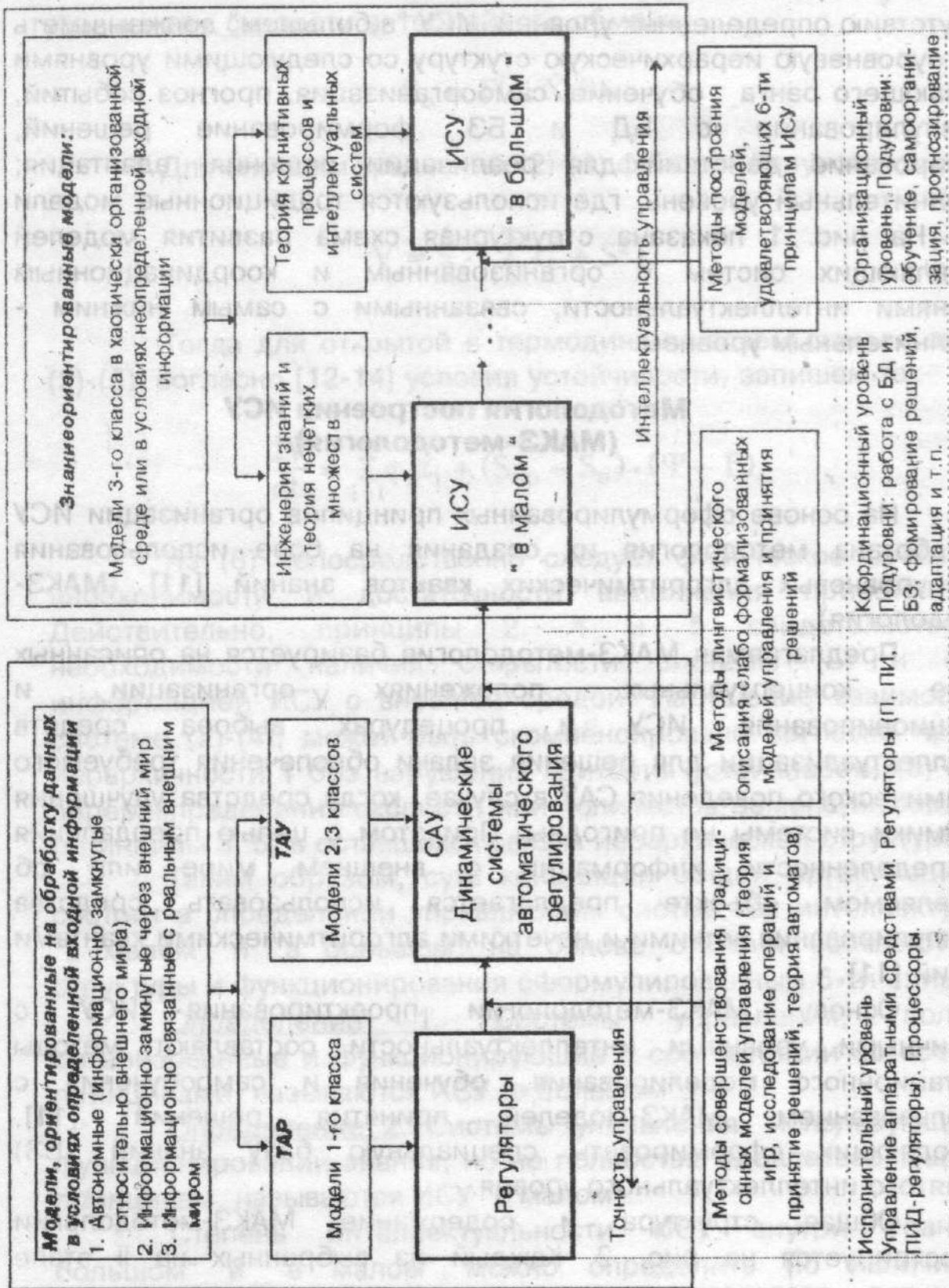


Рис. 1. Структурная схема развития моделей управляющих систем с различными уровнями интеллектуализации.





Рис. 2. Структура и содержание МАКЗ-методологии построения ИСУ.



подуровней ИСУ определяют сложность аппаратного и программного обеспечения. Окончательный вариант выбора моделей САУ осуществляется по результатам имитационного моделирования на III этапе проектирования ИСУ.

Эффективность предложенной МАКЗ-методологии подтверждается реальными примерами построения ИСУ динамическими объектами различной природы.

### Литература

1. Hirota K. Fuzzy control and intelligent robot. McGraw-Hill, Japan, 1985. 319 с.
2. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. - М.: Радио и связь, 1990. 290 с.
3. Алиев Р.А., Церковный А.Е., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой - исходной информации. - М.: Энергоатомиздат, 1991. 294 с.
4. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. - М.: Наука, 1990. 368 с.
5. Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. - М.: Энергоатомиздат, 1991. 290 с.
6. Захаров В.Н., Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления.
  - I. Научно-организационные, технико-экономические и прикладные аспекты. // Изв. РАН. Техническая кибернетика, 1992. №5. С. 171-196.
  - II. Эволюция и принципы построения.// Изв. РАН. Техническая кибернетика, 1993. №4. С.189-205.
  - III. Методология проектирования.// Изв. РАН. Техническая кибернетика, 1993. №5. С. 197-220.
  - IV. Имитационное моделирование.// Изв. РАН. Техническая кибернетика, 1994. №5. С. 168-210.
7. Nishikawa T. Fuzzy theory: The science of human intuition.// Jap. Comput. Quart, 1989. № 79.
8. Schwartz T. J. Fuzzy systems come life in Japan: while here is only a glint in the American eye.// IEEE Expert, 1990. v.5. №1.



9. Sugeno M. Fuzzy control. Nikkan Industry Newspaper Comp. Tokyo, 1988.

10. Fuzzy microsystems: From U.S. to Japan to China and back. Fuzzy logic hardware comes of age.// Neural Network Almanace, 1990-1991. Lake Oswego, Ore. 1991.

11. Сироджа И.Б. Математическое программное обеспечение интеллектуальных компьютерных систем.-Харьков: ХАИ, 1992. 120 с.

12. Петров Б.Н., Уланов Г.М., Ульянов С.В. Динамические системы с нечеткой и случайно изменяющейся структурой.// Итоги науки и техники. Сер. Техн. Кибернетика. М.: ВИНТИ АН СССР, 1979. Т. 11.

13. Perroun M., Saucier A. Thermodynamics of dissipative systems.// Helvetica. Phisics Acts, 1987. v. 60. № 8.

14. Ульянов С.В. Стохастические и нечеткие модели релятивистских и квантовых динамических систем.// Нечеткие системы поддержки принятия решений. - Калинин: КГУ, 1989.