

Интеллектуальные системы автоматического управления

При изучении любого объекта первый и наиболее существенный шаг состоит в том, чтобы найти принципы численной оценки и практические методы измерения некоторого качества, присущего этому объекту. Когда вы не можете измерить и выразить в числах то, о чем говорите – ваше знание предмета недостаточно и неудовлетворительно. У.Кельвин

Направления развития САУ

- В настоящее время в мировой практике существует устойчивая тенденция, наряду с совершенствованием традиционных классических систем управления автоматизированным электроприводом, разработки систем, основанных на приемах искусственного (компьютерного) интеллекта. Исследования в области экспертных систем привлекает все нарастающее внимание в научной и инженерной среде. В особенности это относится к нечеткой логике (fuzzy logic) [3], нейронным сетям (neural networks) и вероятностным методам, таким как генетические алгоритмы (genetic algorithms).

Направления развития САУ

- На практике задачи таких областей, как биосинтез, многофазные химико-технологические процессы, управление в условиях неопределенности и т.п., успешно решаются человеком-оператором, в силу его способности наблюдать, анализировать, накапливать информацию, делать выводы и принимать решения. Благодаря своему интеллекту, человек может оперировать не только с количественными, но и с качественными неформализованными понятиями, вследствие чего довольно успешно справляется с неопределенностью и сложностью процесса управления. Поэтому, одним из самых важных и перспективных направлений развития теории управления является построение и использование моделей приближенных рассуждений человека, то есть построение интеллектуальных САУ (ИСАУ).

Особенности интеллектуальных САУ

- Интеллектуальная САУ способна в той или иной степени воспроизводить определенные интеллектуальные действия человека, связанные с приобретением, анализом, классификацией знаний в предметной области управления, а также оперирующих знаниями, накопленными человеком-оператором или самой системой в ходе практической деятельности по управлению объектом. Сфера применения ИСАУ широка - от промышленных роботов до бытовых приборов.
- Характерными особенностями ИСАУ является использование информации в символьном виде и наличие возможности выбора (между вариантами в условиях неопределенности). При этом, применение ИСАУ позволяет повысить качество продукции при уменьшении затрат ресурсов и энергии, обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию возмущающих факторов по сравнению с традиционными САУ.

Требования к ИСАУ

- В 1989 г. создатель теории интеллектуальных машин Дж. Саридис разработал структурную организацию интеллектуальных систем, в которой ИСАУ представляется тремя обобщенными уровнями иерархии. При этом по мере продвижения к высшим уровням иерархической структуры повышается интеллектуальность системы, но снижается ее точность, и наоборот.
- Интеллектуальность системы характеризуется способностью системы работать с базой событий с целью выявления знаний, позволяющих уточнить задачу и наметить пути ее решения.

Принципы организации ИСАУ

- 1. Наличие взаимодействия управляющих систем с реальным внешним миром с использованием информационных каналов связи. Принцип взаимодействия системы с внешним миром позволяет организовать каналы связи для извлечения необходимых знаний с целью организации целесообразного поведения и активного воздействия на среду, если это необходимо.

Принципы организации ИСАУ

- 2. **Принципиальная открытость систем** с целью повышения интеллектуальности и совершенствования собственного поведения. Открытость систем обеспечивается наличием способностей к самонастройке, самоорганизации и самообучению. Выполнение этого принципа позволяет организовать в интеллектуальной системе процесс приобретения, пополнения и верификации знаний.

Принципы организации ИСАУ

- 3. Наличие механизмов прогноза изменения внешнего мира и собственного поведения системы в динамически меняющемся внешнем мире. Выполнение принципа обеспечивает возможность выхода из критических и непредсказуемых ситуаций.
- 4. Наличие у ИСАУ многоуровневой иерархической структуры, построенной в соответствии с IPDI. Данный принцип позволяет конструировать ИСАУ в тех случаях, когда неточность знаний о модели объекта управления или его поведении можно компенсировать за счет повышения интеллектуальности создаваемых систем или соответствующих алгоритмов управления.

Принципы организации ИСАУ

- 5 **Постоянство функционирования** (возможно, с определенной степенью деградации) при разрыве связей или потере управляющих воздействий от высших уровней иерархии управляющей структуры. Сохранение автономного функционирования в рамках более простого поведения системы обеспечивает максимальную живучесть ИСАУ.
- Степень интеллектуальности системы управления зависит от функциональной насыщенности уровней.

Различия ИСАУ

- Под интеллектуальной **в большем** системой будет пониматься система, соответствующая всем перечисленным принципам.
- Под интеллектуальной **в малом** системой будет пониматься система, не реализующая указанных принципов, но использующая знания, как средство преодоления неопределенности.
- Интеллектуальные в большем и малом системы устанавливают верхнюю и нижнюю границы интеллектуальности управляющих систем.

Непрерывная адаптация системы

- Повышение интеллектуальности системы может быть решением известной проблемы актуальности базы знаний - к моменту начала функционирования системы, база знаний, составленная экспертами, уже является устаревшей. Это происходит, в частности, из-за самой структуры таких правил: «Что было бы, если бы система попала такую-то ситуацию». Единственным способом поддержания базы знаний в актуальном состоянии является непрерывная адаптация системы к изменяющимся условиям окружающей среды.

Нечеткая ИСАУ

- Любая ИСАУ изначально должна иметь некоторый базовый набор знаний о предметной области функционирования, заданный экспертами при её создании. Учитывая тот факт, что экспертами являются люди, а людям свойственно формулировать свои знания о мире в виде вербальных и нечетких утверждений, одним из самых перспективных подходов для представления знаний является использование лингвистических переменных и аппарата нечетких множеств.
- «Руководящим принципом мягких вычислений является: терпимость к неточности, неопределенности и частичной истинности для достижения удобства манипулирования, робастности, низкой стоимости решения и лучшего согласия с реальностью».

Лотфи Заде

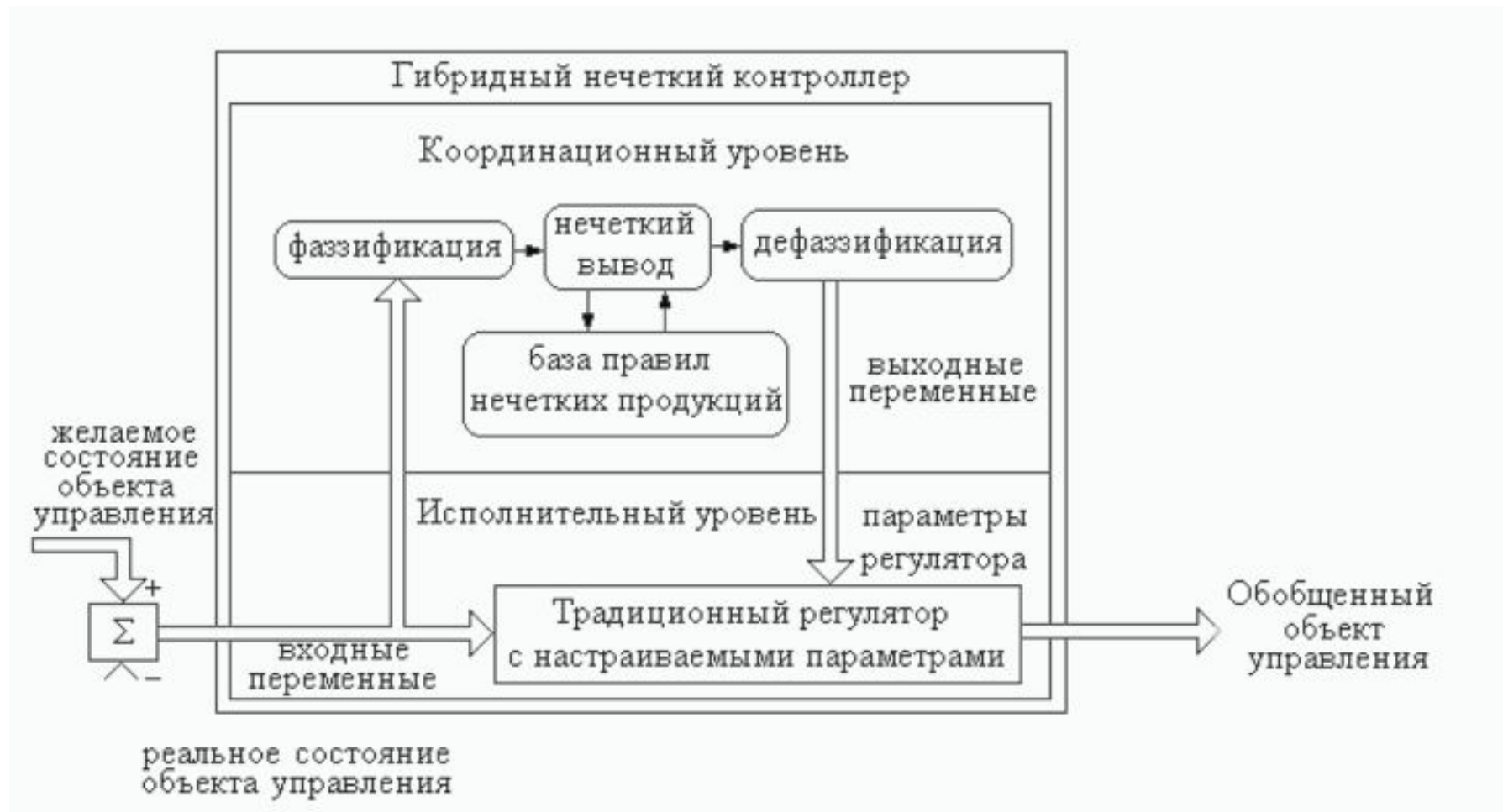
Типы нечетких ИСАУ

- 1. **ИСАУ с нечетким контроллером** (прямой контроль). Обычная замкнутая система управления с обратной связью, использующая в качестве регулятора нечеткий контроллер. Поскольку нечеткий контроллер осуществляет вывод решения посредством заранее заданной базы знаний и не имеет средств для её модификации, это система с наименьшим уровнем интеллектуальности (интеллектуальная в малом САУ).

Типы нечетких ИСАУ

- 2. Гибридные нечеткие ИСАУ. ИСАУ, использующая в качестве регулятора гибридный нечеткий контроллер. Гибридный контроллер представляет из себя двухуровневое устройство, нижний уровень которого вырабатывает управляющее воздействие методами классической ТАУ (например, обычным ПИД-регулятором), а верхний - производит нечеткую адаптацию параметров регулятора нижнего уровня. Таким образом достигается некоторый уровень адаптивности ИСАУ.

Архитектура гибридной нечеткой САУ



Типы нечетких ИСАУ

- 3. **Адаптивные нечеткие ИСАУ.** В качестве регуляторов используются адаптивные контроллеры. Это тоже двухуровневые устройства, в которых управляющие воздействия нижнего уровня формируются посредством нечеткого вывода. А на верхнем уровне происходит нечеткая коррекция базы правил нижнего уровня. С помощью корректировки базы правил такая ИСАУ может адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и параметрам управляемого объекта.

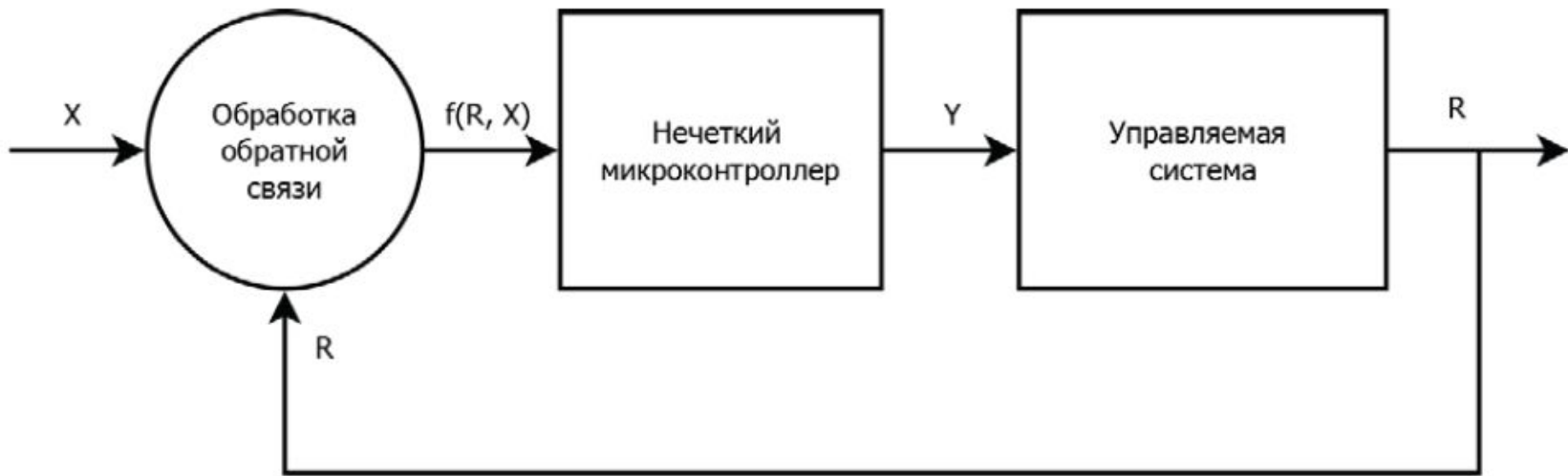
Особенности практической реализации нечеткого контроллера

- Для реализации нечеткого алгоритма на микроконтроллерах существует два пути. **Первый** - аппаратная реализация нечеткого микроконтроллера, **второй** – программно-аппаратная.
- 1.1. Специально разработанное устройство под конкретные цели.
- 1.2. Микроконтроллеры специального назначения (например, Fujitsu F2RU-8, VY86C570 (Togai InfraLogic), SAE 81C99 (Siemens)).
- 1.3. Микроконтроллеры общего назначения с аппаратной поддержкой нечеткой логики (такие как Motorola 68HC12, ST52 Dualogic (STMicroelectronics)).

Особенности практической реализации нечеткого контроллера

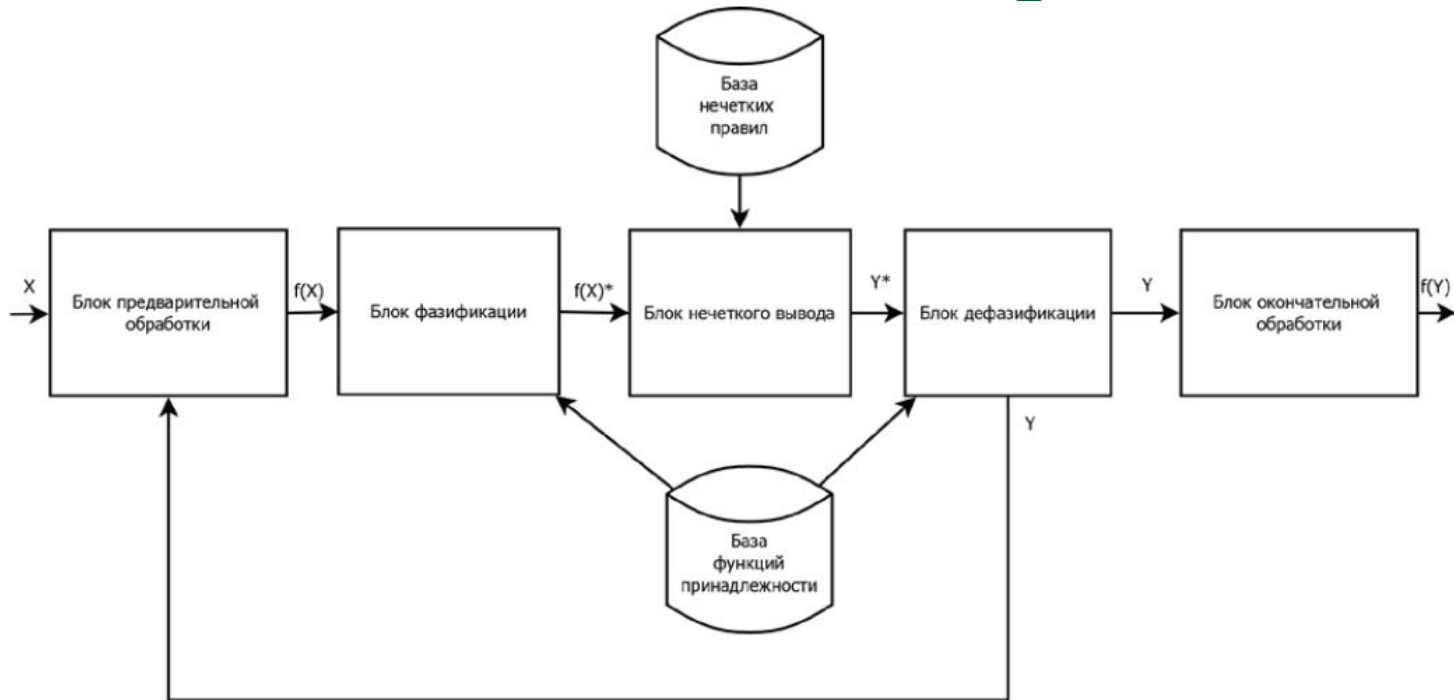
- 2.1. Применение программной реализация на основе микроконтроллеров общего назначения (AVR, PIC, MSP, ARM).
- 2.2. Использование специальной «нечеткой» библиотеки, предоставляющей необходимое «нечеткий» API (нечеткий язык) Free Fuzzy Logic Library, fuzzyCLIPS.
- 2.3. Использование специальных «конструкторов» нечетких систем и **последующая трансляция в код микропрограммы микроконтроллера** (Matlab, Matematica, CubiCalc, RuleMaker, FuziCalc, fuzzyTECH).
- 2.4. Использование специализированных программных средств, позволяющих сразу генерировать код с нечеткой системой под любой микроконтроллер.

Общая структура нечеткой САУ, интеллектуальной в малом



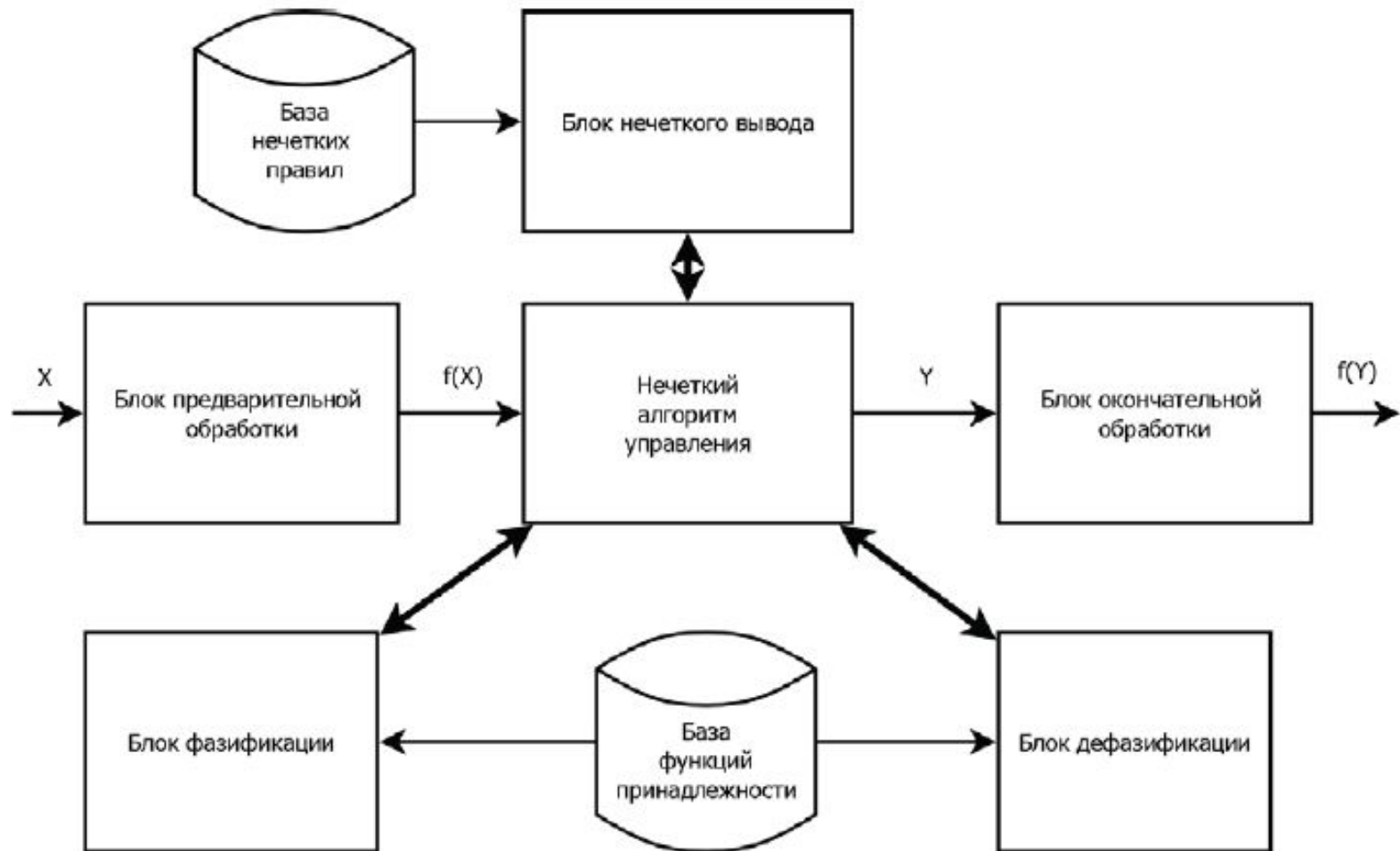
Здесь X - входные параметры системы,
 Y - выходные, R - обратная связь.

Блоки в нечетком аппаратном МК

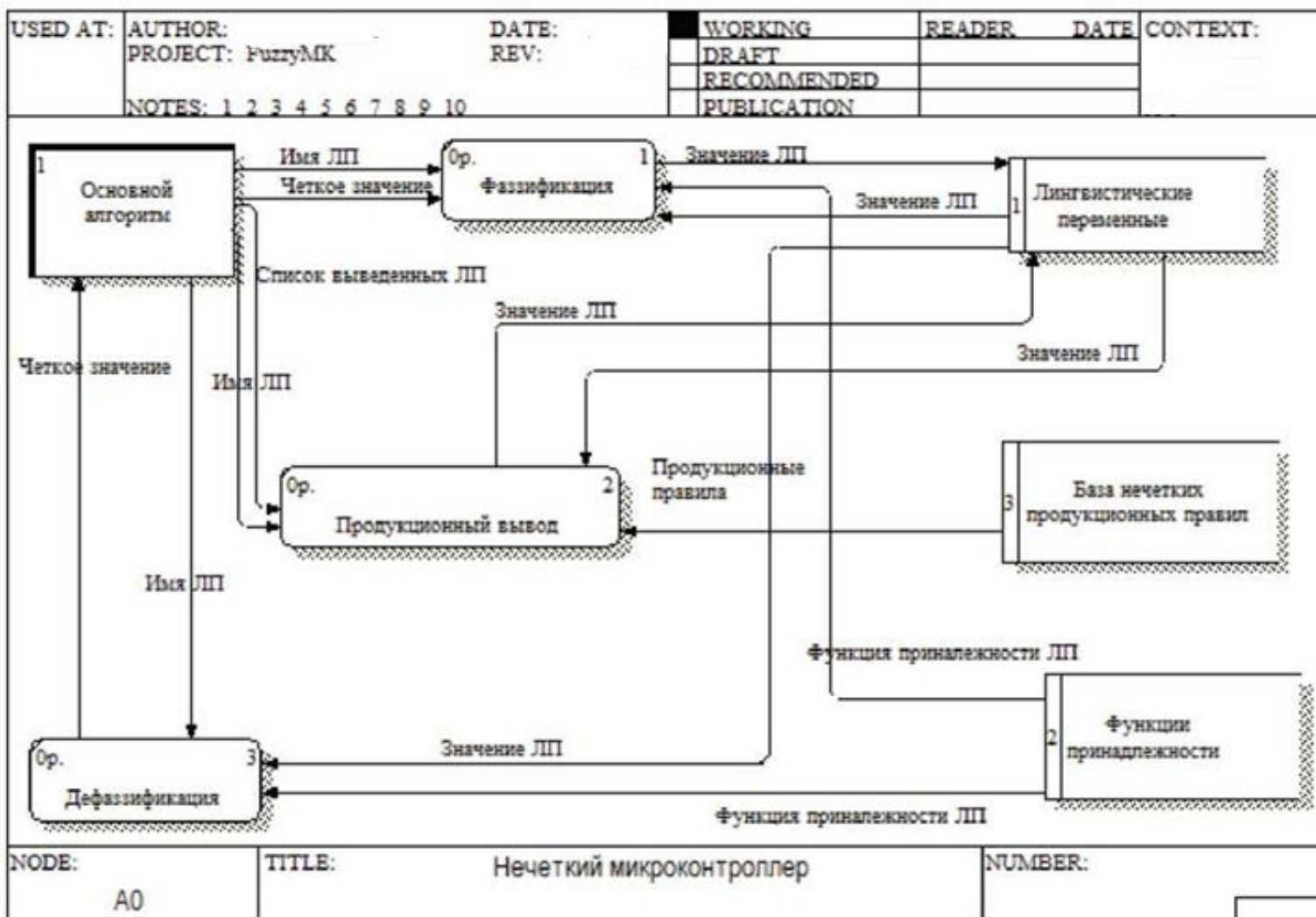


При аппаратной реализации перечисленные блоки реализуются в виде независимых микроэлектронных устройств, связанных друг с другом. Однако такая схема микроконтроллера не обеспечивает необходимой гибкости и позволяет использовать лишь стандартную последовательность нечеткого вывода. Такие решения могут использоваться в специальных задачах, в которых не планируется последующая модификация.

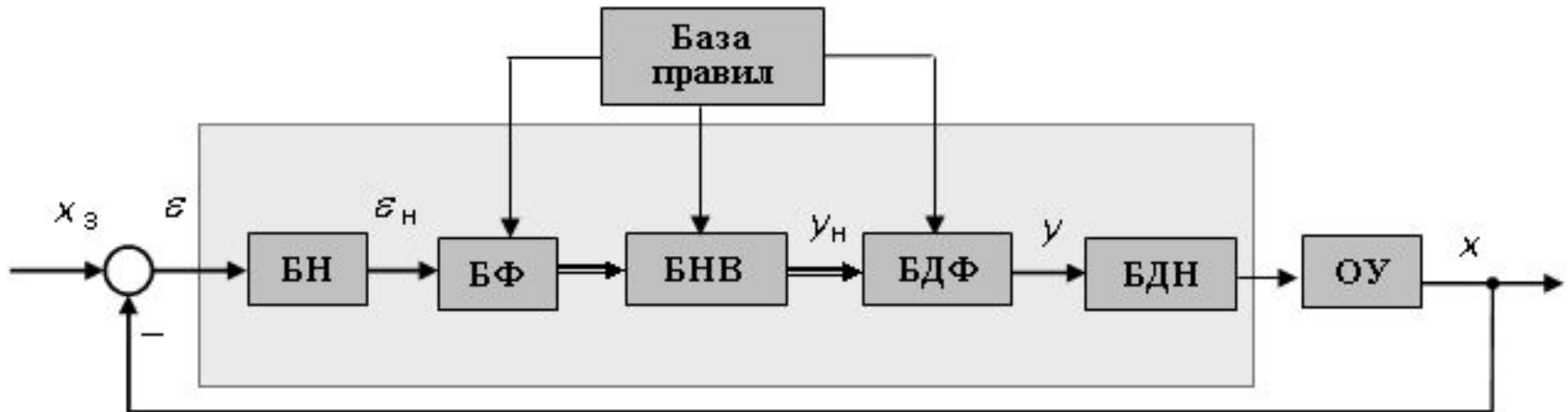
Блоки в нечетком программном МК



DFD-диаграмма взаимодействия модулей



Структура системы фаззи-регулирования



БН - блок нормирования (сигнал ошибки регулирования ε умножается на масштабный коэффициент $k_{\varepsilon.n.} < 1$);

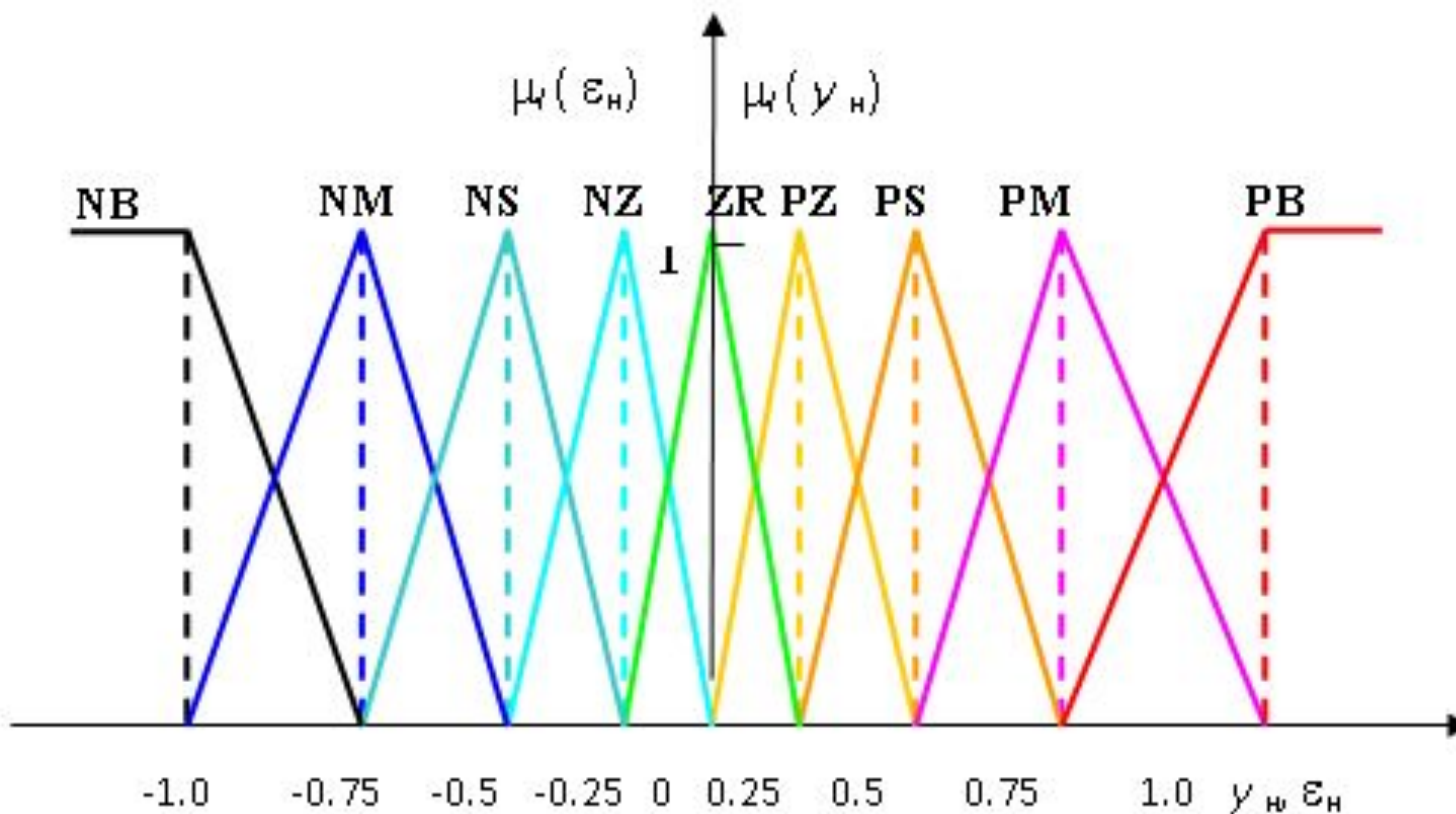
БФ - блок фаззификации;

БНВ - блок нечёткого вывода;

БДФ - блок дефаззификации;

БДН - денормирования ($y = y_n / k_{y.n.}$ ($k_{y.n.} < 1$)).

Унифицированная система функций принадлежности



База продукционных правил

$\begin{matrix} \text{de} \\ \text{dt} \\ e \end{matrix}$	NB	NM	NS	ZN	Z	ZP	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PS	PS	ZP	NS	NM	NM
NM	PB	PM	PS	ZN	ZP	ZP	NS	NM	NM
NS	PM	PM	PM	NS	ZP	Z	NS	NS	NM
ZN	PM	PM	PS	ZN	Z	Z	NS	NS	NM
Z	PS	ZP	ZP	Z	Z	ZN	ZN	ZN	NS
ZP	PS	ZP	ZP	Z	Z	ZN	NS	NS	NM
PS	PS	PS	ZP	Z	ZN	ZN	NM	NM	NM
PM	PM	PS	PS	ZN	ZN	NS	NM	NM	NB
PB	PM	PS	ZN	PS	NS	NS	NM	NB	NB

Управление осуществляется по двум переменным: отклонению e и скорости изменения отклонения de/dt желаемой выходной переменной y заданного объекта управления.

Наименования отдельных термов

Символическое обозначение	Англоязычная нотация	Русскоязычная нотация
NB	Negative Big	Отрицательное большое
NM	Negative Middle	Отрицательное среднее
NS	Negative Small	Отрицательное малое
ZN	Zero Negative	<u>Отрицательное близкое к нулю</u>
Z	Zero	Нуль, <u>близкое к нулю</u>
ZP	Zero Positive	<u>Положительное близкое к нулю</u>
PS	Positive Small	Положительное малое
PM	Positive Middle	Положительное среднее
PB	Positive Big	Положительное большое

Нечеткие логические операции

Фаззи-логическое отрицание

$$\mu(\neg A) = 1 - \mu(A),$$

Фаззи-логическая дизъюнкция

$$\mu(A \vee B) = \max\{\mu(A), \mu(B)\},$$

Фаззи-логическая конъюнкция

$$\mu(A \wedge B) = \min\{\mu(A), \mu(B)\},$$

Фаззи-логическая импликация

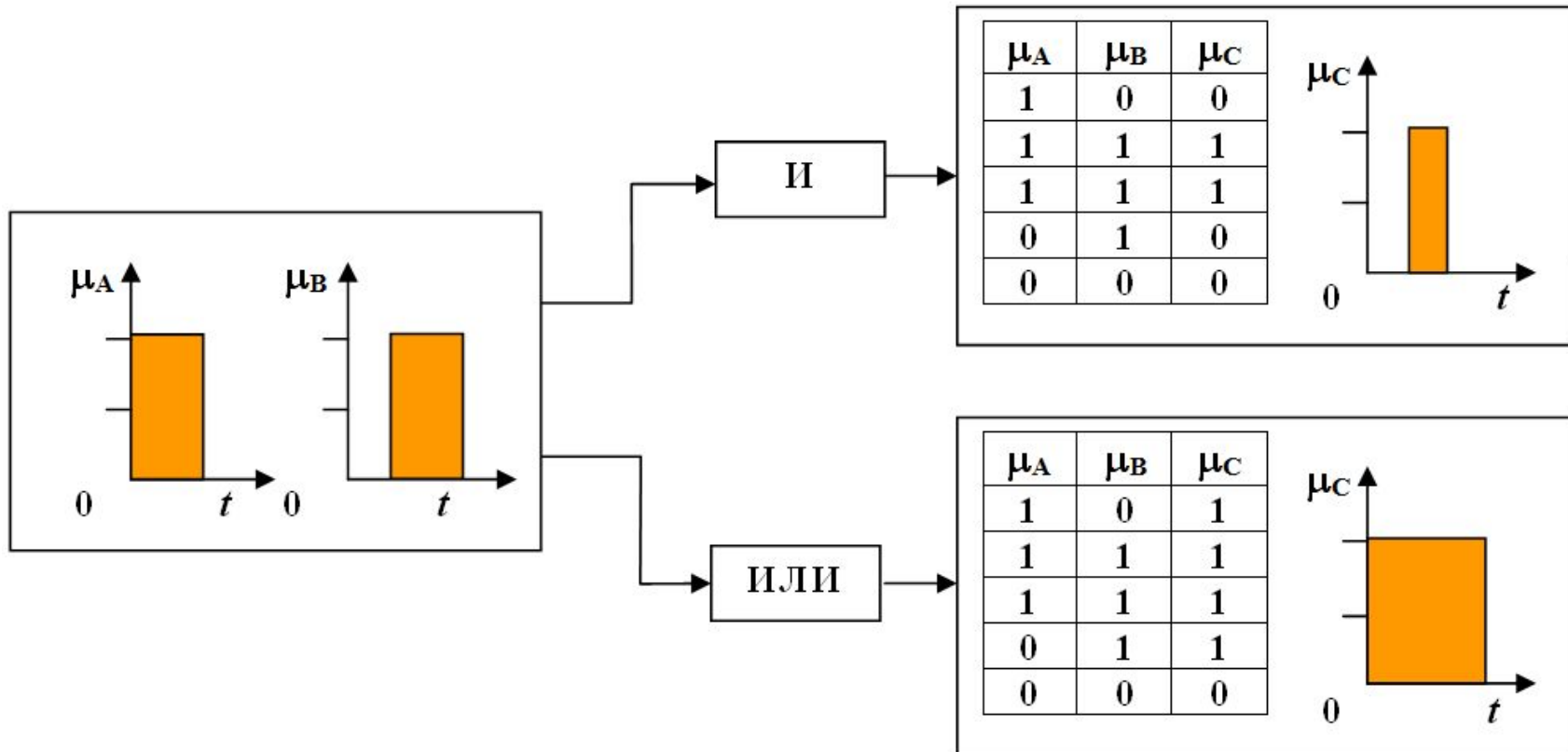
$$\mu(A \Rightarrow B) = \min\{1, 1 + \mu(B) - \mu(A)\}.$$

Можно применять арифметические преобразования:

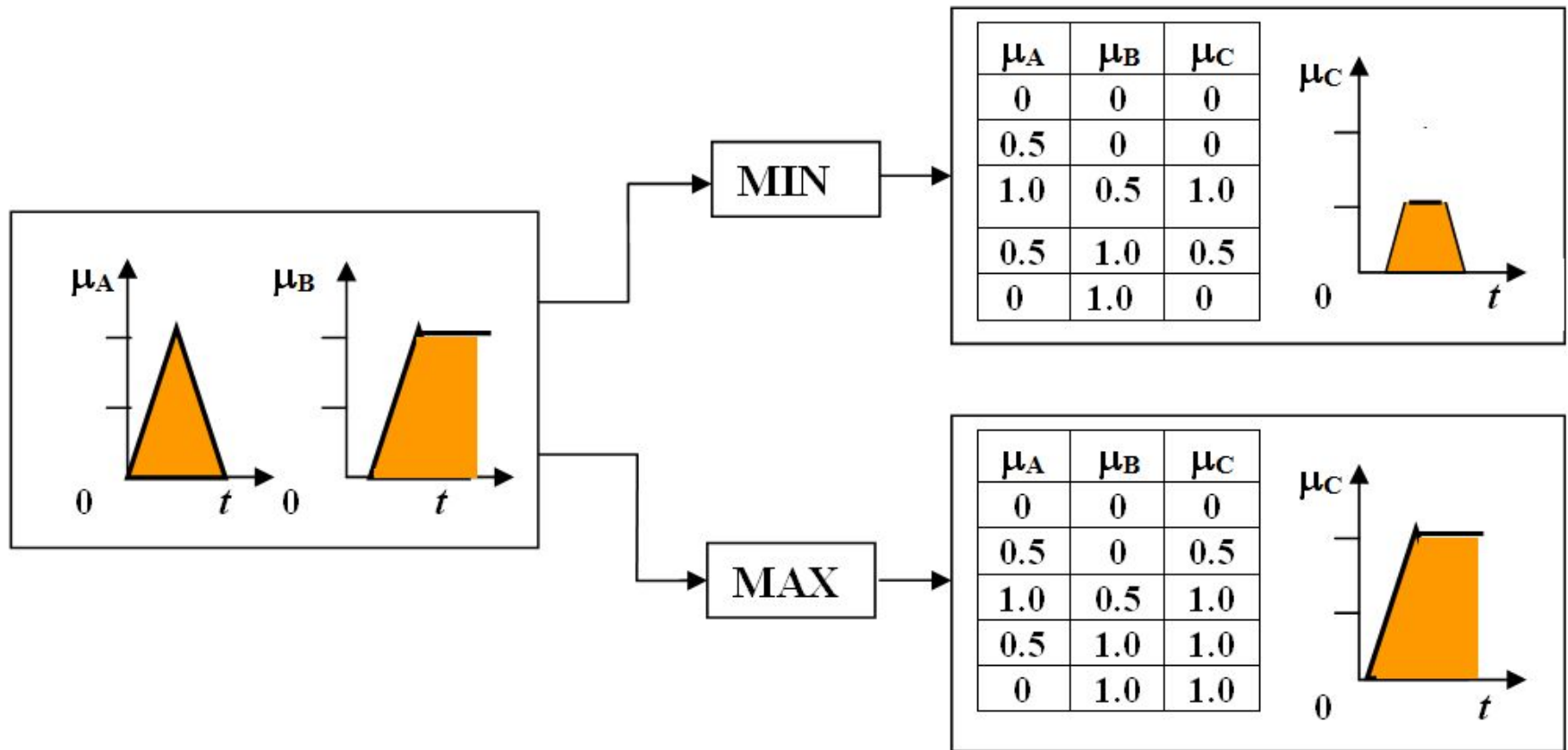
$$\mu(A \vee B) = \mu(A) + \mu(B) - \mu(A)\mu(B),$$

$$\mu(A \wedge B) = \mu(A) \mu(B),$$

Операции в бинарной логике



Операции в фаззи-логике



Пример использования фаззи-логики

«Инженеры, обладающие знаниями технологии **И** экономики производства, имеют хорошие профессиональные перспективы в области инновации **ИЛИ** менеджмента». Пусть отдельные части этого высказывания характеризуются следующими значениями:

- **A**: инженеры обладают знаниями технологии - $\mu(A) = 0,8$;
- **B**: инженеры обладают знаниями экономики - $\mu(B) = 0,6$;
- **C**: имеются хорошие перспективы для инновационной деятельности - $\mu(C) = 0,4$;
- **D**: имеются хорошие перспективы для работы менеджером - $\mu(C) = 0,3$.

Решение задачи

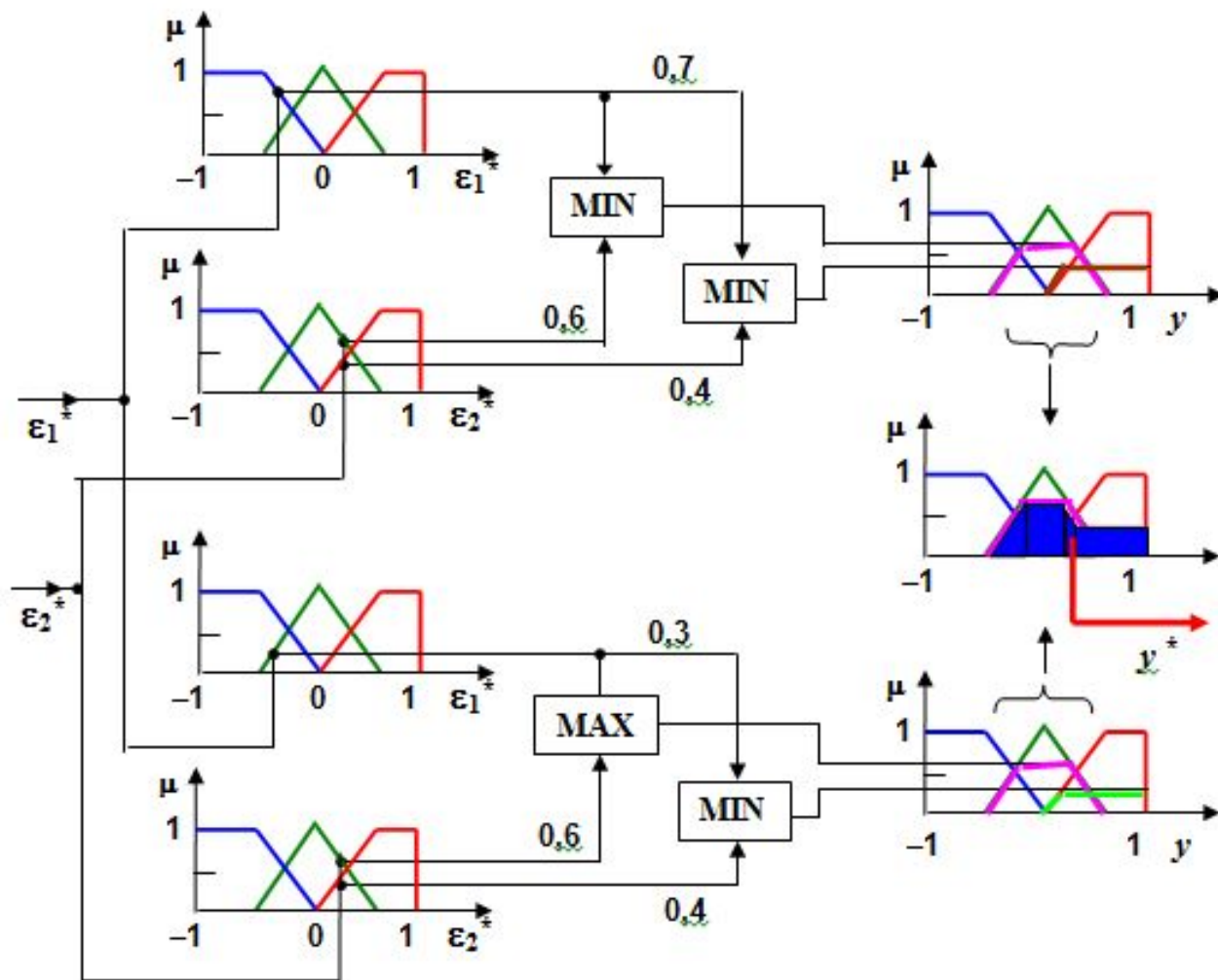
Полное высказывание можно представить в виде импликации:

$$A \wedge B \Rightarrow C \vee D,$$

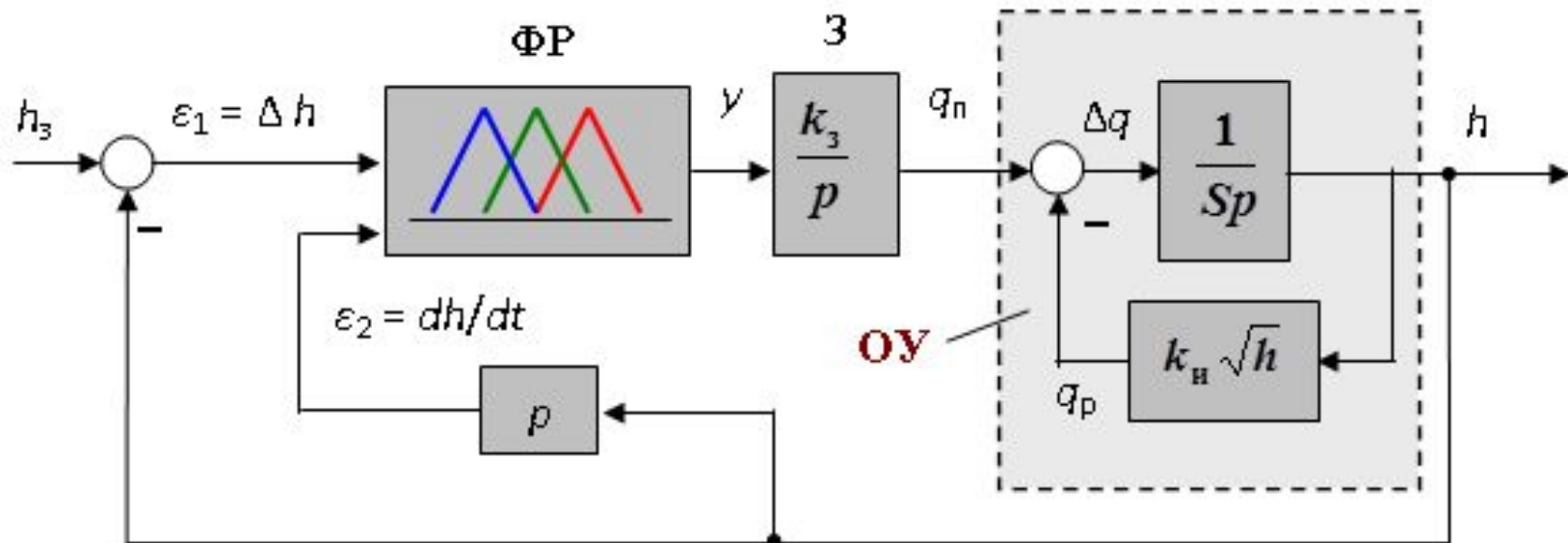
у которой функция истинности равна

$$\begin{aligned}\mu(A \wedge B \Rightarrow C \vee D) &= \min\{1, (1 + \mu(C \vee D) - \mu(A \wedge B))\} = \\ &= \min\{1, (1 + \max\{\mu(C), \mu(D)\} - \min\{\mu(A), \mu(B)\})\} = \\ &= \min\{1, (1 + \max\{0,4; 0,3\} - \min\{0,8; 0,6\})\} = \\ &= \min\{1, (1 + 0,4 - 0,6)\} = 0,8.\end{aligned}$$

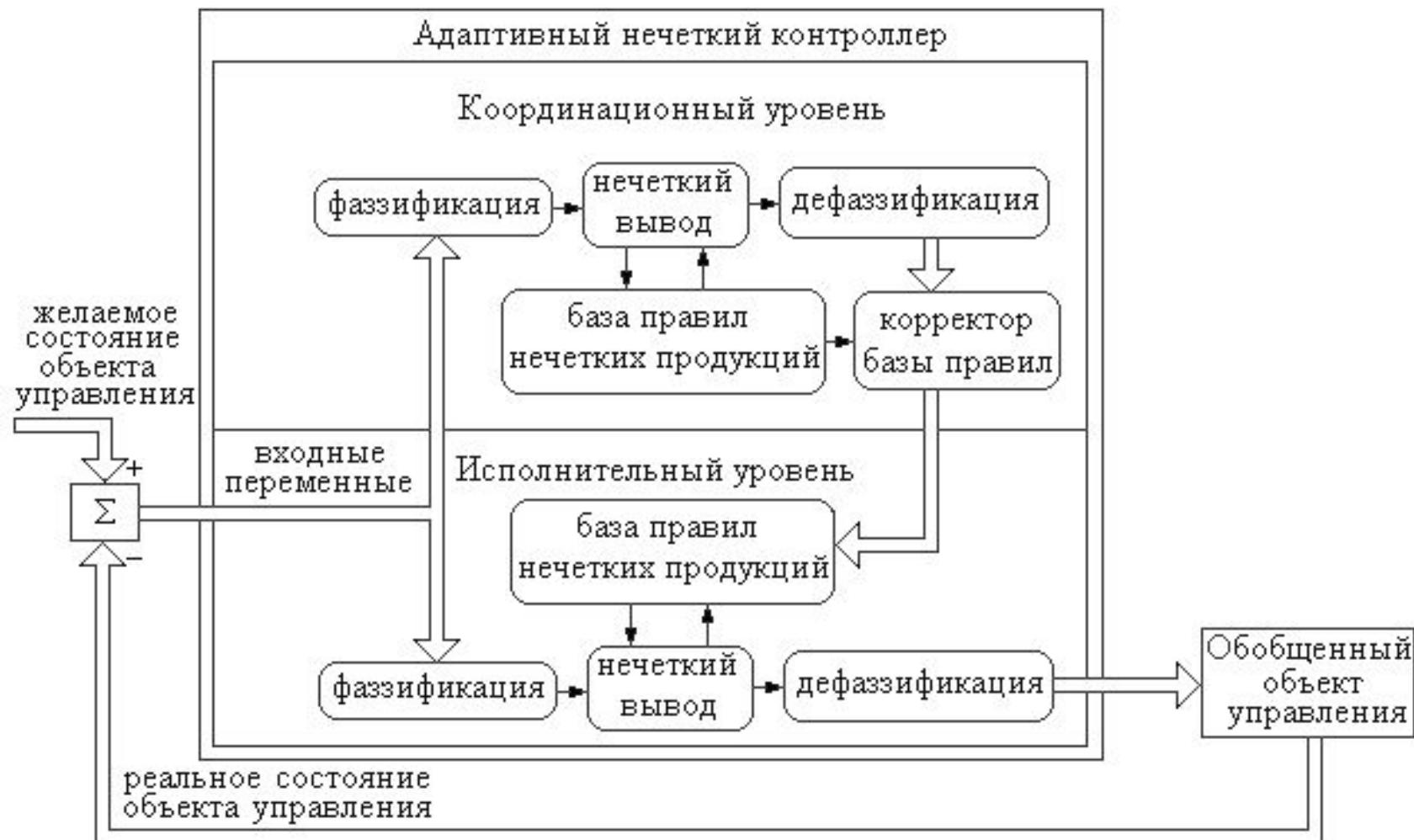
Пример схемной реализации фазы-регулятора



Структура системы фаззи-регулирования уровня жидкости



Структура адаптивной нечеткой САУ



Адаптивная нечёткая САУ позволит

- 1. создать систему управления эффективную во всем спектре ситуаций;
- 2. автоматизирование отопления зданий (сложных объектов) с минимально известной информацией;
- 3. отрабатывать возмущения с учётом старения здания (течением времени), большого запаздывания и инерционностью;
- 4. оценивать постоянно изменяющиеся показатели возмущающих воздействий и выдавать конкретный результат регулирования (благодаря базам данных/правил/знаний, блокам фаззификации и дефаззификации);
- 5. адаптироваться к изменениям как самого объекта управления, так и факторов на него влияющих;
- 6. применять данные САУ для различного рода типовых конструкций зданий (требуется база знаний);
- 7. обеспечивать более высокие показатели качества переходных процессов;
- 8. выполнить оптимизацию контура регулирования без проведения всесторонних математических исследований.