

# Лекция №17

---

## Содержание лекции:

- Интеллектуальные системы нечеткого логического вывода Мамдани
- Пример построения системы нечеткого вывода Мамдани

## Интеллектуальные системы нечеткого логического вывода Мамдани.

Нечеткий логический вывод представляет собой перечень инструкций, описанных при помощи нечетких высказываний. Нечеткими высказываниями называются высказывания следующего вида:

1. высказывание  $\langle x \text{ есть } A \rangle$ , где  $x$  - наименование лингвистической переменной, отражающей некоторый объект или параметр реальной действительности, относительно которой производится утверждение  $A$ , являющейся ее нечеткой оценкой (нечеткой переменной); Например: «Атмосферное давление высокое». Здесь  $x$  – «Атмосферное давление»,  $A$  – «Высокое».
2. высказывания вида  $\langle x \text{ есть } mA \rangle$ ,  $\langle x \text{ есть } QA \rangle$ ,  $\langle Qx \text{ есть } mA \rangle$ ,  $\langle mx \text{ есть } QA \rangle$ , при этом  $m$  называется модификатором (ему соответствуют такие слова, как очень, более или менее, незначительный, средний и др.),  $Q$  - квантификатором (ему соответствуют слова типа большинство, несколько, много, немного, очень много и др.);
3. высказывания, образованные из высказываний 1-го и 2-го видов и союзов И; ИЛИ; ЕСЛИ..., ТО...; ЕСЛИ..., ТО... ИНАЧЕ.

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме "Если-то"

и функции принадлежности для соответствующих лингвистических переменных. При этом должны соблюдаться следующие условия:

1. Существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического термина выходной переменной.
2. Для любого термина входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки (левая часть правила).

В противном случае имеет место неполная база нечетких правил.

Пусть в базе правил имеется  $m$  правил вида:

$R_1$ : ЕСЛИ  $x_1$  это  $A_{11}$  ... И ...  $x_n$  это  $A_{1n}$ , ТО  $y$  это  $B_1$

$R_i$ : ЕСЛИ  $x_1$  это  $A_{i1}$  ... И ...  $x_n$  это  $A_{in}$ , ТО  $y$  это  $B_i$

$R_m$ : ЕСЛИ  $x_1$  это  $A_{m1}$  ... И ...  $x_n$  это  $A_{mn}$ , ТО  $y$  это  $B_m$ ,

где  $x_k$  ( $k=1..n$ ) – входные переменные;  $y$  – выходная переменная;  $A_{ik}$  – заданные нечеткие множества с функциями принадлежности.

Результатом нечеткого вывода является четкое значение переменной  $y^*$  на основе заданных четких значений  $x_k$  ( $k=1..n$ ).

В общем случае механизм логического вывода включает три этапа: введение нечеткости (фазификация), нечеткий вывод, композиция и приведение к четкости, или дефазификация (см. рис. 10.6).

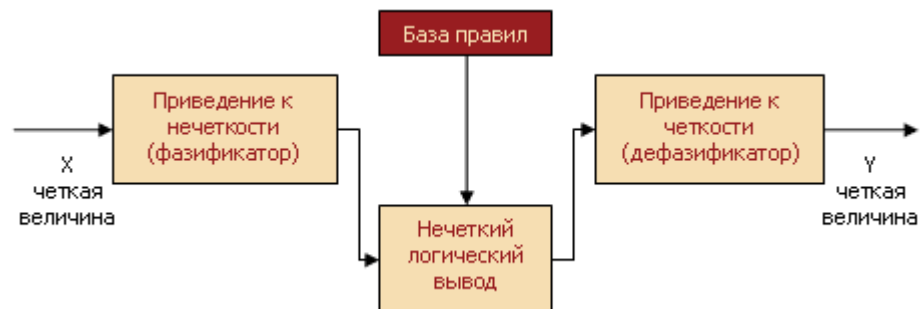


Рис.10.6. Система нечеткого логического вывода.

Алгоритмы нечеткого вывода различаются главным образом видом используемых правил, логических операций и разновидностью метода дефазификации. Разработаны модели нечеткого вывода Мамдани, Сугено, Ларсена, Цукамото.

Рассмотрим подробнее нечеткий вывод на примере механизма Мамдани (Mamdani). Это наиболее распространенный способ логического вывода в нечетких системах. В алгоритме используется минимаксная композиция нечетких множеств. Данный механизм включает в себя следующую последовательность действий.

1. Процедура фазификации: определяются степени истинности, т.е. значения функций принадлежности для левых частей каждого правила (предпосылок). Для базы правил с  $m$  правилами и  $n$  входными лингвистическими переменными обозначим функции принадлежности как  $\mu(A_{ik}(x_k))$  для входных, и  $\mu(B_j(y))$  для выходной переменной ( $i=1..m$ ,  $k=1..n$ ).
2. Нечеткий вывод. Сначала определяются уровни "отсечения" для левой части каждого из правил:

$$\alpha_i = \min_k (\mu(A_{ik}(x_k))) \quad (10.6)$$

Далее находятся "усеченные" функции принадлежности:

$$\mu(B_i^*(y)) = \min_i (\alpha_i, \mu(B_i(y))) \quad (10.7)$$

3. Композиция, или объединение полученных усеченных функций, для чего используется максимальная композиция нечетких множеств:

$$MF(y) = \max_i (\mu(B_i^*(y))) \quad (10.8)$$

где  $MF(y)$  – функция принадлежности итогового нечеткого множества.

4. Дефазификация, или приведение к четкости. Существует несколько методов дефазификации. Например, метод среднего центра, или центроидный метод:

$$y^* = \frac{\int_{Min}^{Max} yMF(y)dy}{\int_{Min}^{Max} MF(y)dy} \quad (10.9)$$

Геометрический смысл такого значения – центр тяжести для кривой  $MF(y)$ . Рис. 10.7 графически иллюстрирует процесс нечеткого вывода по Мамдани для двух входных переменных и двух нечетких правил R1 и R2.

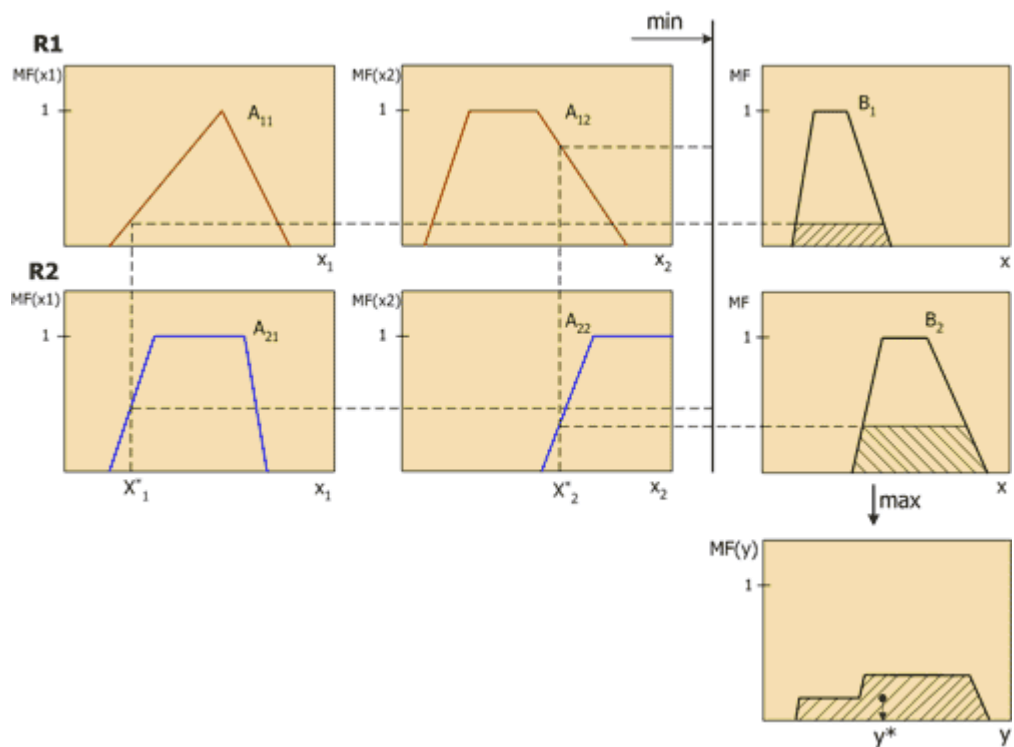


Рис.10.7. Схема нечеткого вывода Мамдани

### Пример построения системы нечеткого вывода Мамдани.

Рассмотрим принцип управления холодопроизводительностью кондиционера «MITSUBISHI HEAVY SRK25ZJP-S» с использованием нечеткой логики.

Холодопроизводительность, которую должен обеспечить кондиционер, определяется разностью между температурой в помещении и температурой, которую мы хотели бы получить (температура уставки). Эта переменная лингвистически может быть сформулирована как “разность температур” и принимать значения “малая”, “средняя” и “большая”. Естественно, чем больше разность температур в данный момент, тем больше должна быть холодопроизводительность.

Второй лингвистической переменной определим “скорость изменения температуры” в помещении, которой также дадим лингвистические значения “малая”, “средняя” и “большая”. Если скорость изменения температуры большая, то требуется большая холодопроизводительность. По мере приближения температуры в помещении к температуре уставки скорость изменения температуры в помещении будет уменьшаться, а холодопроизводительность кондиционера снижаться.

Холодопроизводительность является выходной переменной, которой присваиваются следующие термы: “очень малая”, “малая”, “средняя”, “большая” и “очень большая”.

Связь между входом и выходом занесем в таблицу нечетких правил.

**Таблица 10.1.** Зависимость холодопроизводительности от разности температур и скорости ее изменения

<b>Скорость изменения температуры</b>	<b>Разность температур</b>	<b>Холодопроизводительность</b>
малая	малая	оченьмалая
малая	средняя	малая
малая	большая	средняя
средняя	малая	малая
средняя	средняя	средняя
средняя	большая	большая
большая	малая	средняя
большая	средняя	большая

большая	большая	оченьбольшая
---------	---------	--------------

Каждая запись соответствует своему нечеткому правилу. Например, если разность температур средняя, а скорость изменения большая, то холодопроизводительность должна быть большая.

Кондиционер с нечеткой логикой работает по следующему принципу: сигналы от датчиков будут фазифицированы, обработаны, дефазифицированы и полученные данные в виде сигналов поступят на частотный регулятор двигателя компрессора, скорость вращения которого (а, следовательно, и производительность) будут меняться в соответствии со значением функции принадлежности.

Построим две функции принадлежности для входных переменных. В одном случае аргументом является разность температур ( $\Delta t$ ) (рис. 10.8), а во втором – скорость изменения температуры ( $Vt$ ) (рис. 10.9). Для первой функции диапазон температур составляет от 0 до 30 К, для второй – от 0 до 0,3 К/мин.

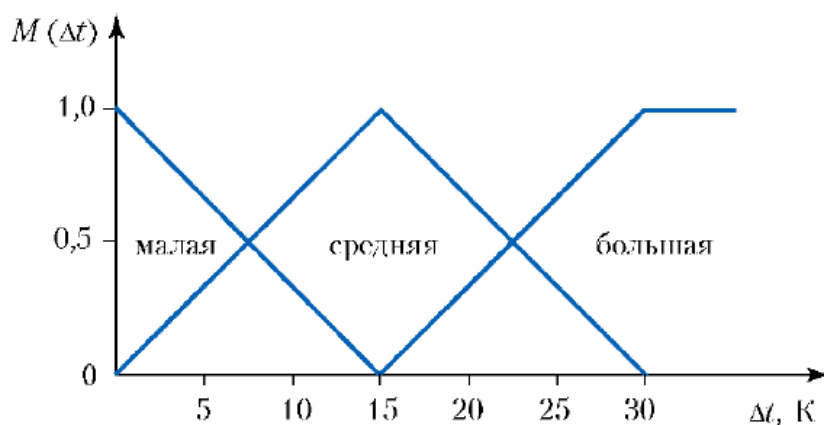


Рис. 10.8. Функция принадлежности для лингвистического аргумента “Разность температур”

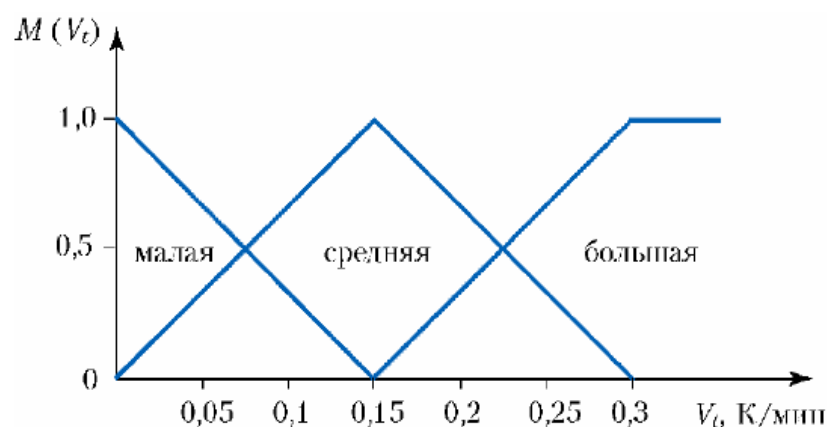


Рис. 10.9. Функция принадлежности для лингвистического аргумента “Скорость изменения температуры”

Определим функцию принадлежности для выходной переменной. Учитывая, что холодопроизводительность пропорциональна частоте вращения компрессора  $F$ , можно построить зависимость результирующей функции принадлежности от частоты вращения компрессора, придав лингвистическим термам скорость вращения компрессора с рангом 1,0 следующие значения (рис. 10.10): очень малая – 10 Гц; малая – 37 Гц; средняя – 62 Гц; большая – 87 Гц; очень большая – 115 Гц.

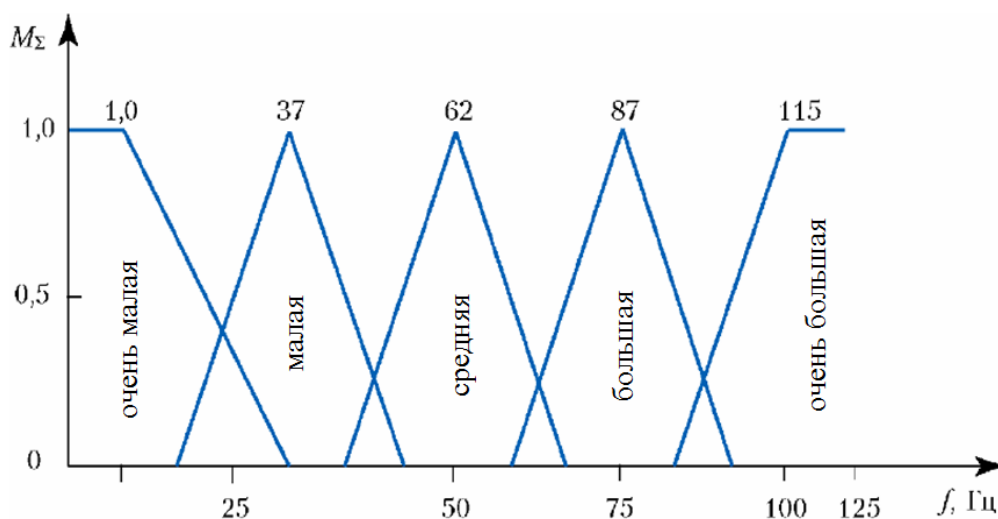


Рис. 10.10. Функции принадлежности выходного параметра “частота вращения компрессора” (эквивалентного параметру «Холодопроизводительность»).

Таким образом, найдя лингвистическим методом суммарную функцию принадлежности, после дефаззификации можно перейти к четкому значению выходного параметра – частоте вращения компрессора или

холодопроизводительности. Микроконтроллер, реализующий нечеткую логику, содержит в своем составе следующие составные части: блок фаззификации, базу знаний, логическое устройство, блок дефаззификации (рис. 10.11).

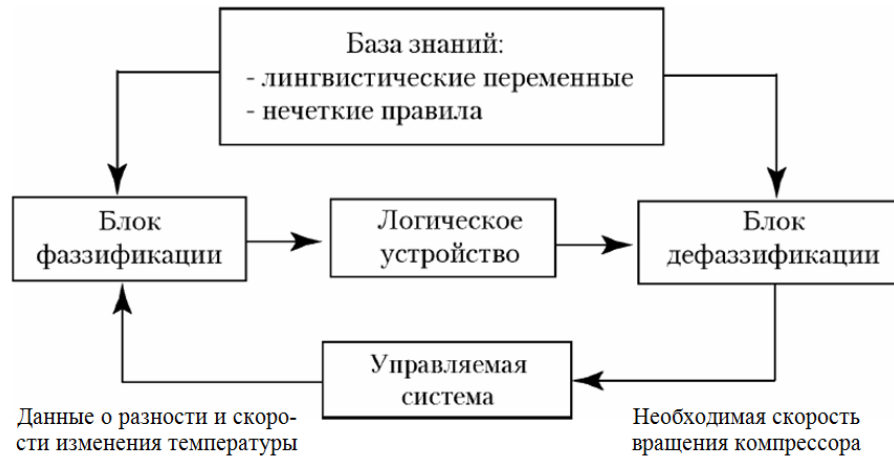


Рис. 10.11. Блок-схема микроконтроллера, реализующего нечеткую логику

Приведем пример функционирования такой системы. Пусть датчики показали, что разность температуры  $\Delta t$  равна 10К, а скорость изменения –  $V_t=0,2$ . Рассчитываем значения левых частей правил вывода:

1. Если  $\Delta t$  – малая И  $V_t$  – малая ТО F-очень малая

$$\min \{M_{\text{малая}}(\Delta t = 10) = 0,3 \text{ И } M_{\text{малая}}(V_t = 0,2) = 0\} = 0$$

$$\Rightarrow \min \{M_{\text{очень малая}}(F); 0\} = 0$$

Геометрически:

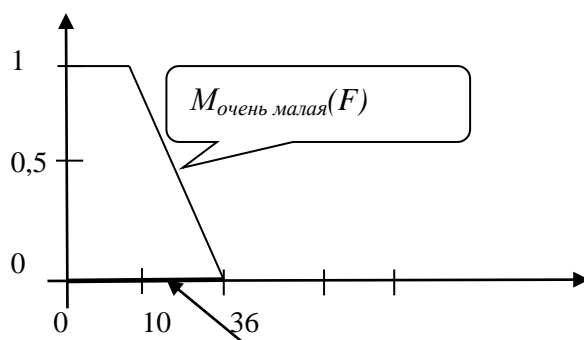
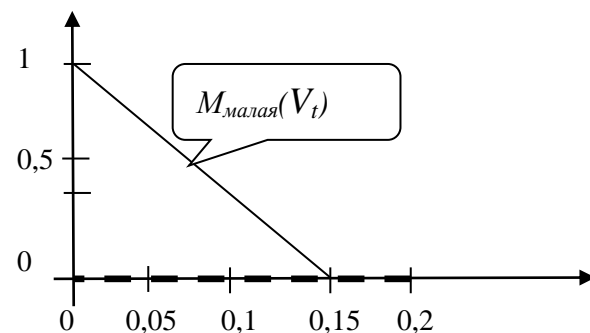
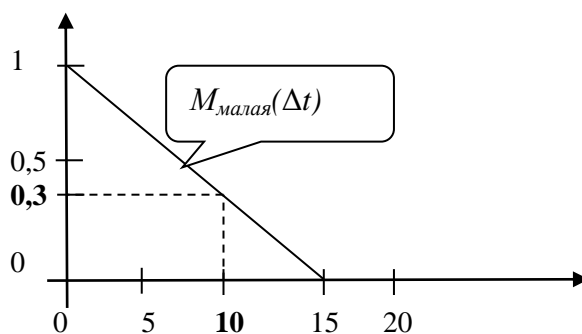




Рис. 10.12. Иллюстрация определения выхода по первому правилу.

Аналогично для всех остальных правил. Графически можно просмотреть процесс вывода по рисунку (система спроектирована в пакете MatLab FuzzyLogic):

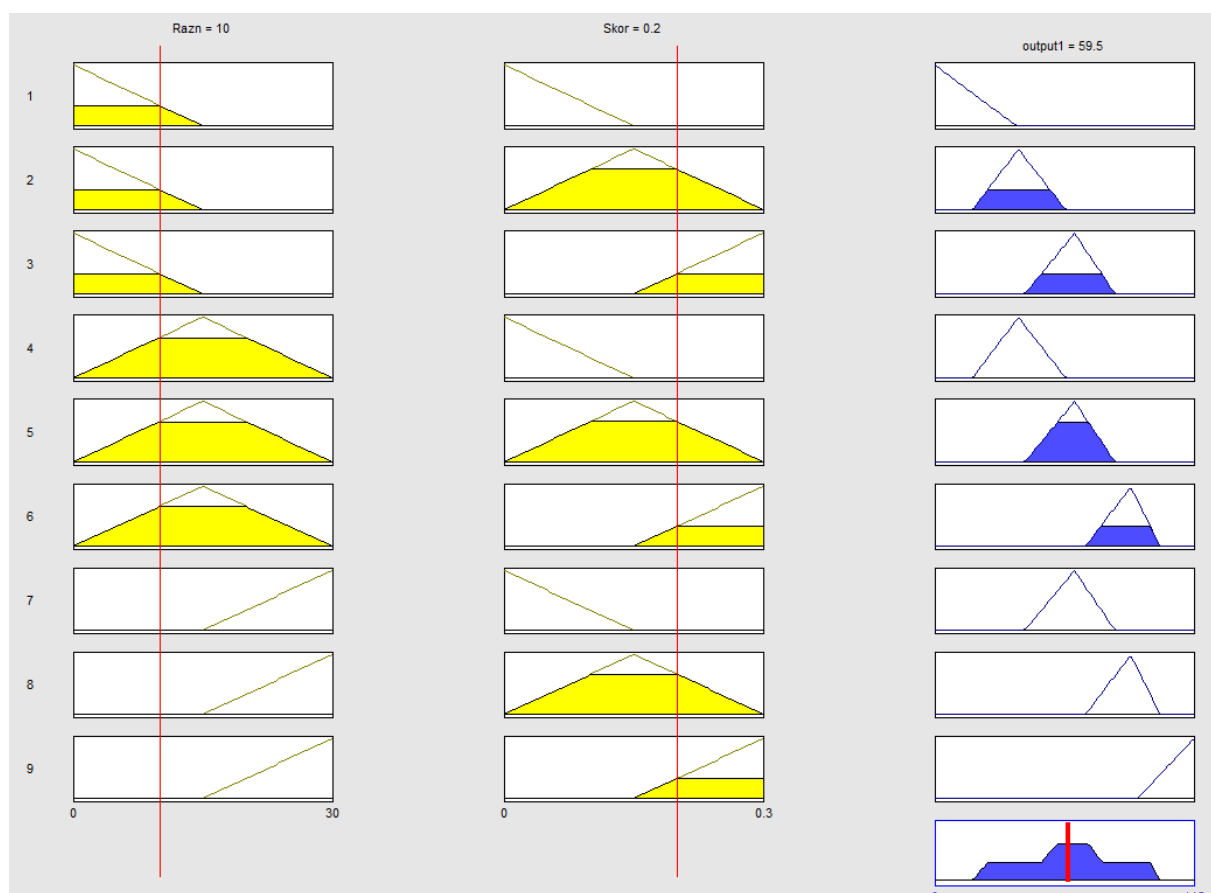


Рис.10.13. Графическое представление нечеткого вывода.

После того, как определена функция принадлежности выходной переменной в виде:

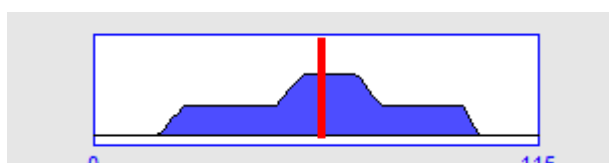


Рис.10.14. Функция принадлежности нечеткого

ответа системы и ее центр тяжести

у этой фигуры рассчитан центр тяжести по формуле (3.22), и определено, что частота вращения компрессора должна быть 59,5 Гц.