

## **22 ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ-2**

### **22.1 Нечеткая модель управления кондиционером воздуха в помещении**

В качестве второго примера использования систем нечеткого вывода в задачах управления рассматривается задача управления кондиционером воздуха в помещении. Эта задача иллюстрирует процесс стабилизации температуры воздуха в помещении, в котором установлен бытовой кондиционер. Для определенности также предположим, что в качестве алгоритма нечеткого вывода будет использоваться алгоритм Мамдани.

#### **22.1.1 Содержательная постановка задачи**

В помещении установлен бытовой кондиционер, который позволяет охлаждать или нагревать воздух в этом помещении. Наиболее комфортные условия в помещении создаются при некоторой стабильной температуре воздуха. Поскольку температура окружающей среды вне помещения изменяется в течение суток и в большой степени зависит от внешних погодных условий, все это дестабилизирует температуру воздуха в помещении и приводит к необходимости ручной регулировки режима работы бытового кондиционера. Задача состоит в том, чтобы сделать регулировку кондиционера автоматической, обеспечивая постоянную температуру воздуха в помещении (рисунок 1).

Опыт использования бытовых кондиционеров показывает, что процесс охлаждения или нагревания воздуха в помещении обладает некоторой инерционностью. А именно, после включения режима "холод" происходит нагнетание холодного воздуха, в связи с чем температура воздуха в помещении постепенно падает. При этом в момент отключения этого режима температура продолжает

падать в течение небольшого, но конечного промежутка времени. Аналогичная картина наблюдается при включении и отключении режима "тепло". Предположим, что в рассматриваемой модели кондиционера включение режима "холод" осуществляется поворотом регулятора влево, включение режима "тепло" осуществляется поворотом регулятора вправо относительно некоторой точки, в которой кондиционер выключен.

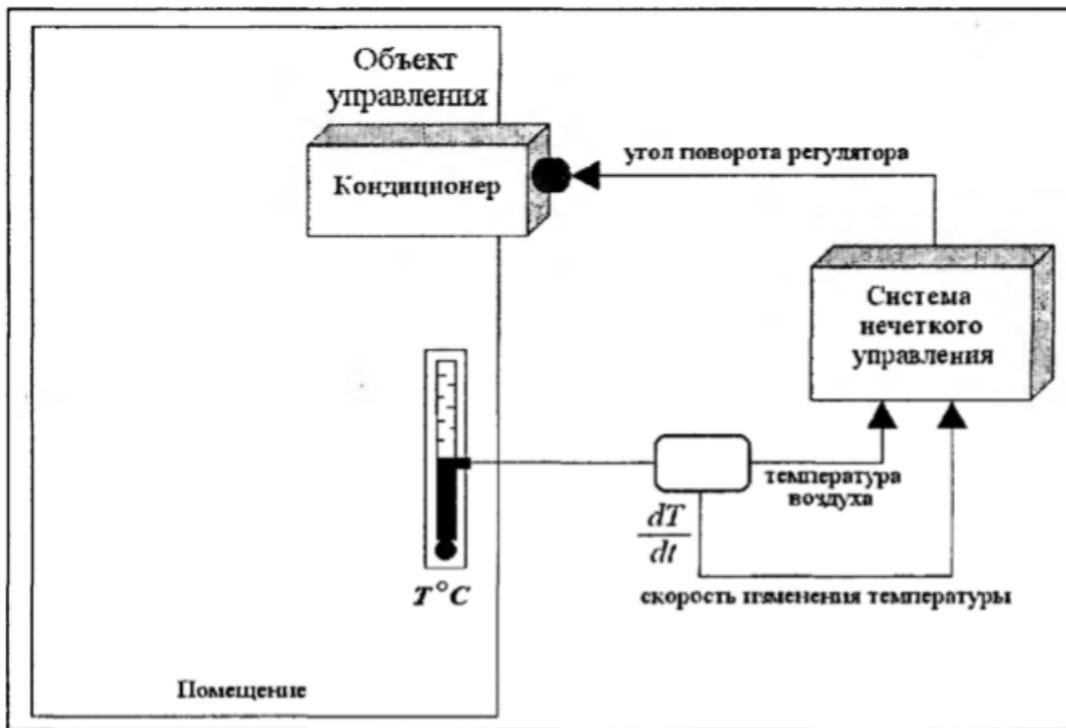


Рисунок 1 – Иллюстрация модели нечеткого управления кондиционером воздуха в помещении

Чтобы учесть эту особенность процесса управления кондиционером и исключить дополнительные затраты, связанные с частым включением и выключением указанных режимов, необходимо рассматривать в качестве выходного параметра не только температуру воздуха в помещении, но и скорость ее изменения. В этом случае эмпирические знания о рассматриваемой проблемной области могут быть представлены в форме эвристических правил, которые применяются в случае ручного регулирования температуры воздуха в помещении с кондиционером:

- Если температура воздуха в помещении очень теплая, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить ре-

жим "холод", повернув регулятор кондиционера на очень большой угол влево.

- Если температура воздуха в помещении очень теплая, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим "холод", повернув регулятор кондиционера на небольшой угол влево.
- Если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим "холод", повернув регулятор кондиционера на большой угол влево.
- Если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры отрицательная, то кондиционер следует выключить.
- Если температура воздуха в помещении очень холодная, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим "тепло", повернув регулятор кондиционера на очень большой угол вправо.
- Если температура воздуха в помещении очень холодная, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим "тепло", повернув регулятор кондиционера на небольшой угол вправо.
- Если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим "тепло", повернув регулятор кондиционера на большой угол вправо.
- Если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры положительная, то кондиционер следует выключить.
- Если температура воздуха в помещении очень теплая, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим

"холод", повернув регулятор кондиционера на большой угол влево.

- Если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим "холод", повернув регулятор кондиционера на небольшой угол влево.
- Если температура воздуха в помещении очень холодная, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим "тепло", повернув регулятор кондиционера на большой угол вправо.
- Если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим "тепло", повернув регулятор кондиционера на небольшой угол вправо.
- Если температура воздуха в помещении в пределах нормы, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим "холод", повернув регулятор кондиционера на небольшой угол влево.
- Если температура воздуха в помещении в пределах нормы, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим "тепло», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол вправо.
- Если температура воздуха в помещении в пределах нормы, а скорость изменения температуры равна нулю, то кондиционер следует выключить.

Эта информация будет использоваться при построении базы правил системы нечеткого вывода, которая позволяет реализовать данную модель нечеткого управления.

### 22.1.2 Построение базы нечетких лингвистических правил

Для формирования базы правил систем нечеткого вывода необходимо предварительно определить входные и выходные лингвистические переменные. Очевидно, в качестве одной из входных лингвистических переменных следует использовать температуру воздуха в помещении:  $\beta_1$  – "температура воздуха", а в качестве второй входной лингвистической переменной  $\beta_2$  – "скорость изменения температура воздуха". В качестве выходной лингвистической переменной будем использовать угол поворота регулятора включения режимов "холод» и "тепло" кондиционера:  $\beta_3$  – "угол поворота регулятора". Для сокращения записи правил будем использовать рассмотренные символические обозначения, при этом модификатор ОЧЕНЬ преобразован к значению отдельного терма.

В этом случае система нечеткого вывода будет содержать 15 правил нечетких продукций следующего вида:

ПРАВИЛО\_1: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть PB" И " $\beta_2$  есть PS" ТО " $\beta_3$  есть NB"

ПРАВИЛО\_2: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть PB" И " $\beta_2$  есть NS" ТО " $\beta_3$  есть NS"

ПРАВИЛО\_3: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть PS" И " $\beta_2$  есть PS" ТО " $\beta_3$  есть NM"

ПРАВИЛО\_4: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть PS" И " $\beta_2$  есть NS" ТО " $\beta_3$  есть Z"

ПРАВИЛО\_5: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть NB" И " $\beta_2$  есть NS" ТО " $\beta_3$  есть PB"

ПРАВИЛО\_6: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть NB" И " $\beta_2$  есть PS" ТО " $\beta_3$  есть PS"

ПРАВИЛО\_7: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть NS" И " $\beta_2$  есть NS" ТО " $\beta_3$  есть PM"

ПРАВИЛО\_8: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть NS" И " $\beta_2$  есть PS" ТО " $\beta_3$  есть Z"

ПРАВИЛО\_9: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть PB" И " $\beta_2$  есть Z" ТО " $\beta_3$  есть NM"

ПРАВИЛО\_10: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть PS" И " $\beta_2$  есть Z" ТО " $\beta_3$  есть NS"

ПРАВИЛО\_11: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть NB" И " $\beta_2$  есть Z" ТО " $\beta_3$  есть PM"

ПРАВИЛО\_12: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть NS" И " $\beta_2$  есть Z" ТО " $\beta_3$  есть PS"

ПРАВИЛО\_13: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть Z" И " $\beta_2$  есть PS" ТО " $\beta_3$  есть NS"

ПРАВИЛО\_14: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть Z" И " $\beta_2$  есть NS" ТО " $\beta_3$  есть PS"

ПРАВИЛО\_15: ЕСЛИ " $\beta_1$  есть Z" И " $\beta_2$  есть Z" ТО " $\beta_3$  есть Z"

### 22.1.3 Фаззификация входных переменных

В качестве терм-множества первой лингвистической переменной будем использовать множество  $T_1 = \{\text{"очень холодная", "холодная", "в пределах нормы", "теплая", "очень теплая"}\}$  или в символическом виде  $T_1 = \{KB, N8, 2, P8, PB\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 2. В качестве терм-множества второй лингвистической переменной будем использовать множество  $T_2 = \{\text{"отрицательная", "равна нулю", "положительная"}\}$  или в символическом виде  $T_2 = \{NS, Z, PS\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 3. В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной будем использовать множество  $T_3 = \{\text{"очень большой угол влево", "большой угол влево", "небольшой угол влево", "выключить кондиционер", "небольшой угол вправо", "большой угол вправо", "очень большой угол вправо"}\}$  или в символическом виде  $T_3 = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$  с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 4.

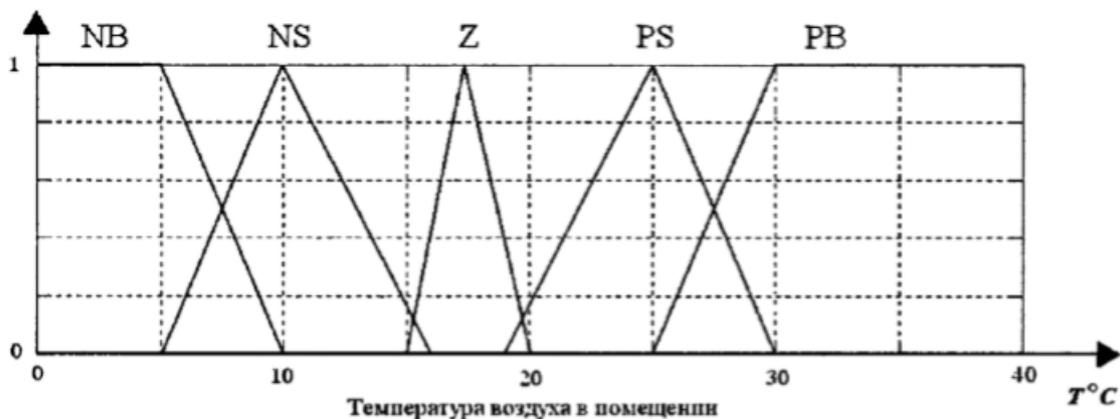


Рисунок 2 – Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной «Температура воды»

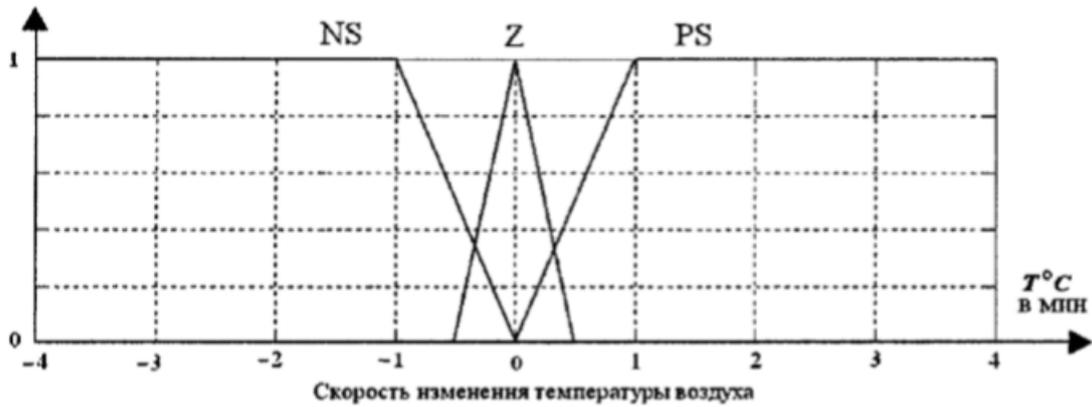


Рисунок 3 – Графики функций принадлежности для термов входной лингвистической переменной «Скорость изменения температуры»

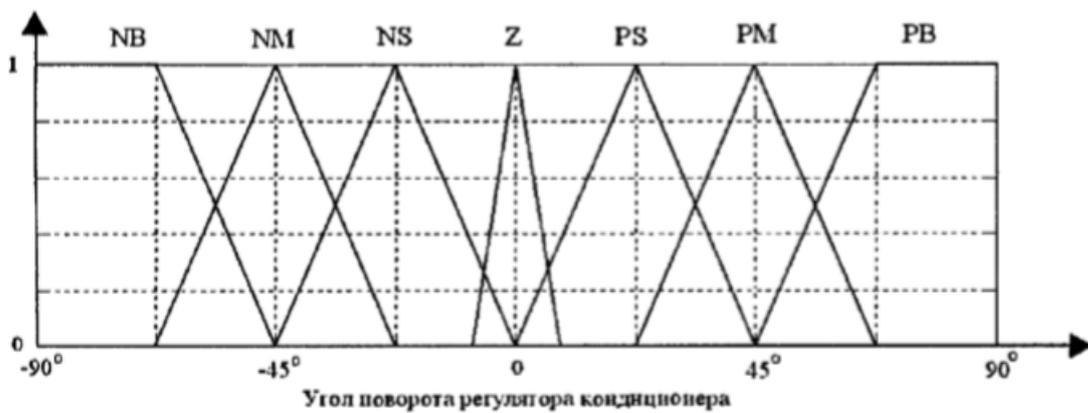


Рисунок 4 – Графики функций принадлежности для термов выходной лингвистической переменной «Угол поворота регулятора»

При этом температура воздуха измеряется в градусах Цельсия, скорость изменения температуры воздуха – в градусах Цельсия в минуту, а угол поворота – в угловых градусах. В последнем случае поворот регулятора вправо означает включение режима "тепло" и положительное направление отсчета, а поворот влево — включение режима "холод" и отрицательное направление отсчета.

Используя в качестве алгоритма вывода алгоритм Мамдани, рассмотрим пример его выполнения для случая, когда текущая температура воздуха равна  $20^{\circ}\text{C}$ , а скорость ее изменения положительная и равна  $0.2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .

В этом случае фаззификация первой входной лингвистической переменной приводит к значению степени истинности 0.15 для терма PS, а фаззифика-

ция второй нечеткой переменной приводит к значению истинности 0.5 для термина Z и значению 0.2 для термина PS. Соответствующие подусловия используются в правилах нечетких продукций с номерами 3 и 10. Эти правила считаются активными и используются в текущем процессе нечеткого вывода.

Агрегирование подусловий правила 3 дает в результате число 0.15, агрегирование подусловий правила 10 – также число 0.15. Следующим этапом нечеткого вывода является активизация заключений в нечетких правилах продукций. Поскольку все заключения правил 1–5 заданы в форме нечетких лингвистических высказываний первого вида, а весовые коэффициенты правил по умолчанию равны 1, то активизация правил 3 и 10 приводит к двум нечетким множествам.

Аккумуляция заключений нечетких правил продукций с использованием операции max-дизъюнкции для правил 3 и 10 приводит в результате к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рисунке 5.

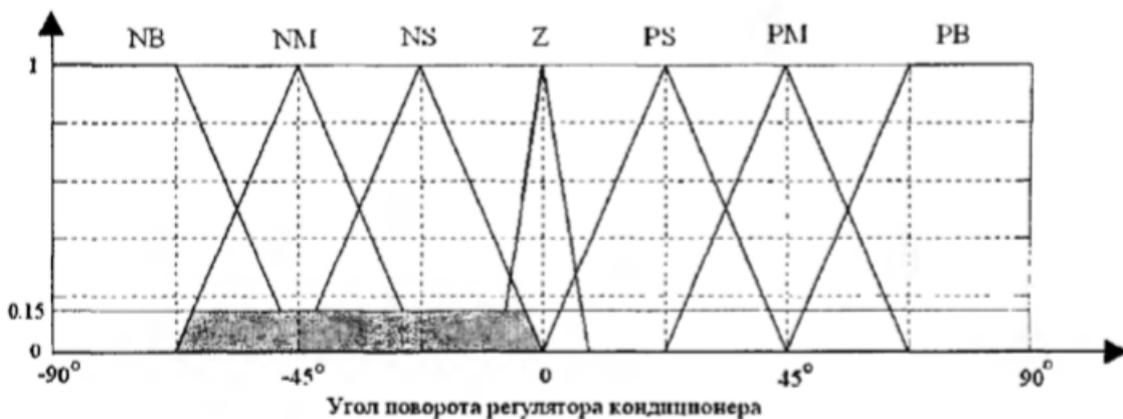


Рисунок 5 – График функции принадлежности двух термов выходной лингвистической переменной «Угол поворота регулятора» после аккумуляции

Дефаззификация выходной лингвистической переменной "Угол поворота регулятора" методом центра площади для значений функции принадлежности, изображенной на рисунке 5, приводит к значению управляющей переменной, равному повороту регулятора кондиционера влево на угол 34° (приближенное значение). Это значение соответствует включению режима "холод" на

треть своей мощности и является результатом решения задачи нечеткого вывода.

Следует отметить, что дефаззификация другим методом приводит к результатам, которые могут существенно отличаться от полученных. Это может потребовать дополнительных исследований по настройке используемых алгоритмов нечеткого вывода.

## **22.2 Нечеткая модель управления контейнерным краном**

В заключение этой лекции рассматривается пример разработки модели системы нечеткого управления контейнерным краном, который предназначен для транспортировки моноблочных контейнеров при выполнении разгрузочных работ морских судов.

### **22.2.1 Содержательная постановка задачи**

Контейнерные краны используются при выполнении погрузочно-разгрузочных работ в портах. Они соединяются с моноблочным контейнером гибким тросом и поднимают контейнер к кабине крана. Кабина крана вместе с контейнером может перемещаться в горизонтальном направлении по направляющим типа рельсов. Когда контейнер поднимается к кабине, а кран приходит в движение, контейнер начинает раскачиваться и отклоняться от строго вертикального положения под кабиной крана. Эта ситуация иллюстрируется на рисунке 6.

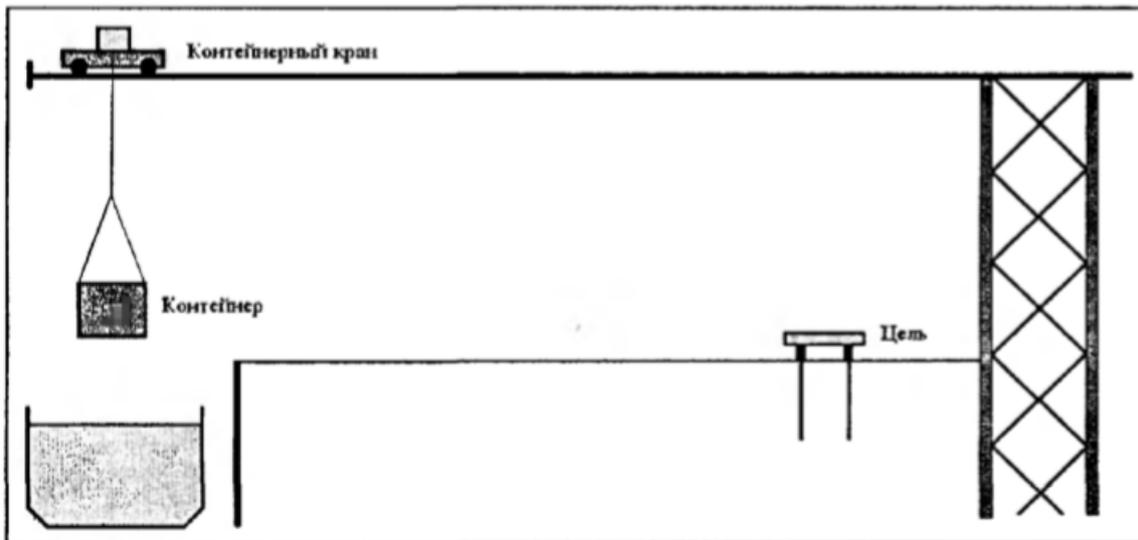


Рисунок 6 – Иллюстрация примера с контейнерным краном

Проблема заключается в том, что пока контейнер раскачивается в ходе своей транспортировки и отклоняется от вертикали, он не может быть опущен на основание цели перемещения, в качестве которой используются железнодорожные платформы или другие транспортные средства.

Анализ действий крановщиков-операторов, выполняющих управление краном, показывает, что они в своей работе применяют следующие эвристические правила:

- Начинать движение следует со средней мощностью.
- Если движение уже началось и кабина находится далеко от цели, отрегулировать мощность двигателя таким образом, чтобы контейнер оказался несколько впереди кабины крана.
- Если кабина находится близко над целью, уменьшить скорость таким образом, чтобы контейнер находился несколько впереди кабины крана.
- Когда контейнер находится очень близко от позиции цели, следует выключить мощность двигателя.
- Когда контейнер находится прямо над позицией цели, следует остановить двигатель.

### 22.2.2 Формирование базы правил систем нечеткого вывода

Следующим этапом построения модели является построение базы правил. С этой целью преобразуем рассмотренные выше 5 эвристических правил в 6 правил нечетких продукций:

ПРАВИЛО\_1: ЕСЛИ "расстояние далекое" И "угол равен нулю" ТО "мощность положительная средняя"

ПРАВИЛО\_2: ЕСЛИ "расстояние далекое" И "угол отрицательный малый" ТО "мощность положительная большая"

ПРАВИЛО\_3: ЕСЛИ "расстояние далекое" И "угол отрицательный большой" ТО "мощность положительная средняя"

ПРАВИЛО\_4: ЕСЛИ "расстояние среднее" И "угол отрицательный малый" ТО "мощность отрицательная средняя"

ПРАВИЛО\_5: ЕСЛИ "расстояние близкое" И "угол положительный малый" ТО "мощность положительная средняя"

ПРАВИЛО\_6: ЕСЛИ "расстояние ноль" И "угол равен нулю" ТО "мощность равна нулю"

Следует заметить, что правило 2 разделено на два отдельных правила, чтобы использовать простой формат ЕСЛИ-ТО. При этом расстояние становится отрицательным в том случае, когда кабина крана находится справа от положения цели.

### 22.2.3 Фаззификация входных переменных

Чтобы иметь возможность автоматически управлять таким краном, необходимо использовать датчики для измерения горизонтального положения кабины крана ("*Расстояние*") и измерения угла раскачивания контейнера ("*Угол*"). Выходом в этом случае является мощность мотора.

Для построения модели системы нечеткого управления контейнерным краном в первую очередь следует для всех переменных определить соответ-

ствующие лингвистические переменные. В нашем случае таких лингвистических переменных три – это расстояние, угол и мощность мотора. Каждая из них будет включать в себя 5 термов. При этом будем использовать функции принадлежности типа кусочно-линейных функций, а также функции принадлежности для одноточечных множеств. Ниже приводятся графики конкретных функций принадлежности для отдельных лингвистических термов соответствующих лингвистических переменных (рисунки 7–9). Названия отдельных термов сокращены: «отр» – отрицательный, «пол» – положительный.

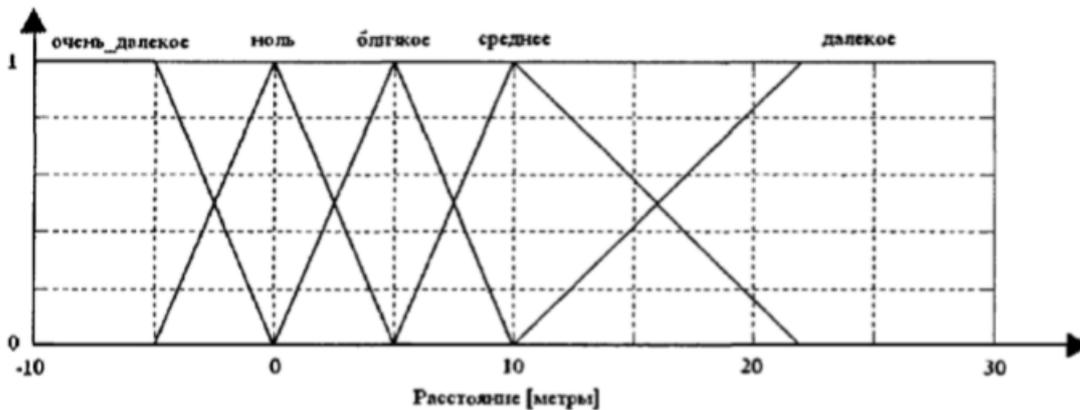


Рисунок 7 – Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «Расстояние», измеряемое от кабины крана до положения цели

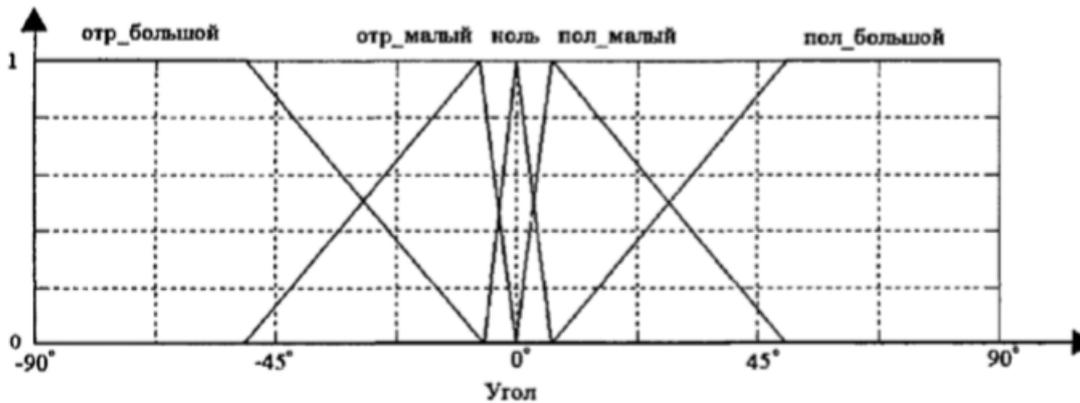


Рисунок 8 – Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «Угол», измеряемый между положением контейнера и кабиной крана



Рисунок 9 – Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной «Мощность» двигателя

Далее необходимо определить методы агрегирования подусловий. Поскольку во всех правилах 1–6 в качестве логической связки для подусловий применяется только нечеткая конъюнкция (операция "И"), то в качестве метода агрегирования будем использовать операцию  $\min$ -конъюнкции. В качестве схемы нечеткого вывода будем использовать метод Мамдани, поэтому методом активизации будет  $\min$ . Для аккумуляции заключений правил будем использовать метод  $\max$ -дизъюнкции, который также применяется в случае схемы нечеткого вывода методом Мамдани. Наконец, в качестве метода дефаззификации будем использовать метод центра тяжести для одноэлементных множеств, который можно также записать в виде ключевого слова COGS.

Рассмотрим пример выполнения нечеткого вывода для этой модели в случае, когда текущее расстояние до цели равно 7.5 м, а угол между контейнером и кабиной крана равен  $10^\circ$ .

В этом случае фаззификация первой входной лингвистической переменной приводит к значениям степени истинности: 0.5 для термина "близкое" и 0.5 для термина "среднее", а фаззификация второй нечеткой переменной приводит к значениям истинности: 0.1 для термина "пол\_большой" и 0.9 для термина "пол\_малый". Соответствующие подусловия совместно используются только в правиле нечеткой продукции с номером 5. Это единственное правило считается активным и используется в текущем процессе нечеткого вывода.

Агрегирование подусловий правила 5 дает в результате число 0.5. Следующим этапом нечеткого вывода является активизация заключения в правиле 5 нечеткой продукции. Поскольку это заключение единственное и задано в форме одноточечного множества, то активизация тривиальна и дает в результате степень принадлежности 0.5. Аккумуляция и дефаззификация также тривиальны и дают в результате, что мощность двигателя равна 12 киловатт.

### 22.3 Контрольные вопросы

1. Что нужно сделать чтобы учесть инерционность процесса управления?
2. Что надо сделать для формирования базы правил систем нечеткого вывода?
3. Чему равны весовые коэффициенты правил по умолчанию?
4. Зависит ли результат дефаззификации от используемого метода?
5. Что надо сделать в первую очередь для построения модели системы нечеткого управления?