

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Искусственный интеллект в профессиональной сфере

Направление подготовки 39.03.01 Социология
Направленность (профиль) «Аналитика и консалтинг»
Форма обучения – Очная, заочная
Год начала обучения 2026 г.

Ставрополь, 2026

Лабораторная работа № 1

НЕЧЕТКИЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ОБЪЕКТОМ В СИСТЕМЕ *FIS MATLAB*

1. Цель и задачи работы

Целью работы является закрепление знаний о построении нечетких экспертных систем, приобретение умений и навыков применения алгоритмов нечеткого логического вывода в системе *FIS Matlab*.

Задачами работы являются формирование умений выполнения процедур фаззификации, нечеткого логического вывода, дефаззификации, применения алгоритма Мамдани и Ларсена в системе *FIS Matlab*.

2. Теоретические сведения

2.1. Нечеткие экспертные системы

Экспертными системами (ЭС) называют системы искусственного интеллекта, осуществляющие поддержку принятия решений при *управлении объектами*, алгоритм функционирования которых заранее не известен, путем моделирования рассуждений на основе экспертных знаний (в форме эвристических правил) квалифицированных специалистов. Пользователем ЭС может быть человек, не обладающий квалификацией эксперта.

Статические ЭС включают в себя такие ключевые элементы как факты и данные в рабочей памяти, правила в базе знаний, механизмы логического вывода в решателе, которые являются основой для подсистем приобретения знаний, объяснений и диалогового компонента. *Динамические ЭС* учитывают изменения окружающей среды, происходящие за время решения задачи, поэтому они, опираясь в своей основе на структуру статических систем, имеют подсистемы моделирования внешнего мира и связи с внешним окружением через систему датчиков и контроллеров.

На рис. 1.1 представлена архитектура статической и динамической ЭС.

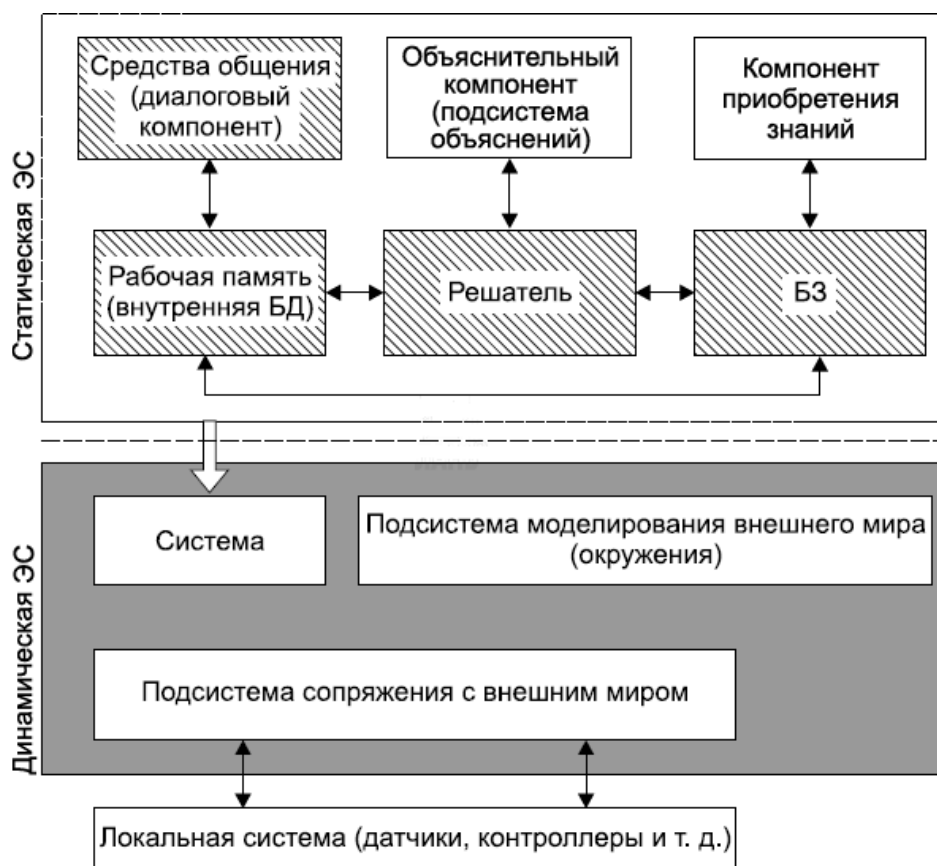


Рис. 1.1. Архитектура статической и динамической ЭС

Если объект управления (ОУ) относится к классу слабоформализованных систем, то информация о нем может быть фрагментарной, неполной, ненадёжной и, возможно, неточной. В этих случаях для разработки базы знаний и механизмов логического вывода ЭС применяется аппарат нечеткой логики.

Нечеткие экспертные системы (НЭС), или ЭС на основе нечеткой логики, используют в качестве модели представления знаний нечёткие продукционные правила *ЕСЛИ-ТО*, сформулированные на естественном языке. Ключевым преимуществом построения ЭС на основе лингвистического представления нечетких экспертных знаний является компактное и адекватное представление реальных ситуаций функционирования ОУ.

Идея включения неточной информации в модели противоречит тому, что всегда требуется насколько возможно высокая точность – поэтому возникает расхождение между актуальностью и точностью. Это противоречие объясняет так называемый *принцип несовместимости*, сформулированный Л. А. Заде: «По мере усложнения системы наша способность делать абсолютные, точные

и значимые утверждения о поведении системы уменьшается. В какой-то момент будет возможен обмен между точностью и релевантностью». Следует отметить, что в обычной разговорной речи понимание собеседниками друг друга достигается достаточно точно, несмотря на то, что их рассуждения носят расплывчатый характер.

НЭС могут применяться для установления текущего состояния динамической системы как ОУ по совокупности параметров в данный момент времени; а также в системах поддержки принятия решений по управлению сложными процессами (объектами) при отсутствии математической модели и когда экспертные знания об объекте или процессе можно сформулировать в лингвистической форме. Структура НЭС представлена на рис. 1.2.

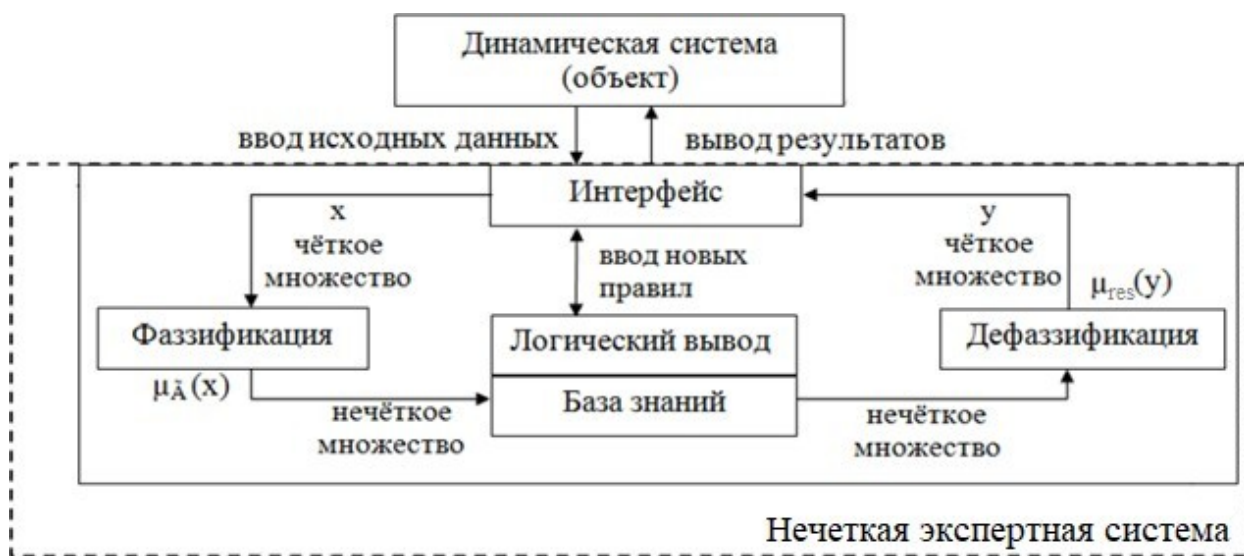


Рис. 1.2. Структура НЭС

Модуль интеллектуального интерфейса считывает данные, в т.ч. с датчиков, о состоянии динамической системы как ОУ и запускает механизм обработки, включающий этапы фаззификации, логического вывода на нечетких правилах и дефаззификации, а затем выводит результаты, которые могут быть использованы исполнительными механизмами системы управления, внешними по отношению к системе нечеткого вывода.

2.1.1. Этап фаззификации.

Фаззификацией называется преобразование чёткого множества входных данных в нечёткое множество, определяемое с помощью

значений функций принадлежности (ФП). Целью фаззификации является установление соответствия между конкретным численным значением отдельной входной переменной системы нечёткого вывода и значением ФП соответствующего ей термина входной лингвистической переменной.

Лингвистической переменной (ЛП) называется переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания естественного языка (скорость, температура, напряжение и т.д.).

Термом (лингвистическим значением) называется значение ЛП, выраженное в словесной форме (высокий, положительный, небольшой и т.д.). Термы всегда присутствуют в модели вместе со связанной ЛП (например, высокая скорость, низкая температура и т.д.).

Лингвистическим терм-множеством называется множество всех возможных значений ЛП. Например, для ЛП «скорость» формируется терм-множество {малая, средняя, высокая}.

Для сокращения записей могут использоваться символические обозначения значений отдельных термов ЛП (табл. 1.1).

Таблица 1.1
Общепринятые обозначения термов ЛП

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

Нечетким множеством A в некотором (непустом) пространстве X ($A \subseteq X$) называется множество пар $A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X\}$, где $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ – ФП нечеткого множества A , которая характеризует степень принадлежности каждого элемента x нечеткому множеству A .

Блок *фаззификации* вычисляет степени принадлежности четких числовых значений x^* входным нечетким множествам A_j .

Вычисленные степени принадлежности $\mu_{A_j}(x)$ показывают, в какой степени входные значения x^* принадлежат конкретным нечетким множествам.

2.1.2. Этап нечеткого логического вывода

Блок *нечёткого логического вывода* (НЛВ) на основе степеней

принадлежности $\mu_{A_j}(x)$ вычисляет результирующую ФП выходного значения модели $\mu_{res}(y)$, которая обычно имеет сложную форму и определяется посредством *логического вывода*.

База правил предназначена для формального представления эмпирических знаний экспертов о методах управления объектом в различных ситуациях, характере функционирования ОУ в различных условиях в форме нечетких продукционных правил *ЕСЛИ – ТО*.

Операция НЛВ включает в себя следующие этапы:

- *агрегирование* – процедура определения степени выполнения (истинности) условий каждого отдельного правила;
 - *активизация*, или *вывод на правилах* – операция, которая заключается в определении активизированных ФП заключений отдельных правил;
 - *аккумуляция* – это процедура нахождения одной результирующей ФП вывода из всей базы правил.

2.1.3. Этап дефаззификации

Дефаззификацией является обратное преобразование нечёткого множества в чёткое множество: на основе результирующей ФП $\mu_{res}(y)$ вычисляется четкое числовое значение y^* выходного параметра, являющееся результатом для входных числовых значений x^* . Существуют различные методы дефаззификации:

- *COG (Center of Gravity)* – метод центра тяжести, в котором определяется абсцисса центра тяжести фигуры, ограниченной графиком ФП;
- *MOM (Mean Of Maximums)* – метод среднего максимума;
 - *LOM (Largest Of Maximums)* – метод наибольшего из максимумов;
 - *SOM (Smallest Of Maximums)* – метод наименьшего из максимумов.

2.1.4. Алгоритмы нечеткого логического вывода

Различают *алгоритмы* НЛВ, отличающиеся друг от друга механизмом логического вывода.

Наибольшее применение в системах НЛВ получил *алгоритм Мамдани*, предложенный в 1975 г. английским математиком Э. Мамдани. Работу алгоритма можно проиллюстрировать на следующем примере.

Пусть x_1 и x_2 – входные переменные; y – выходная переменная;

$A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ – некоторые заданные значения ФП. База правил состоит из двух нечетких правила:

П 1: ЕСЛИ ($x_1 = A_1$) И ($x_2 = B_1$) ТО ($y = C_1$);

П 2: ЕСЛИ ($x_1 = A_2$) И ($x_2 = B_2$) ТО ($y = C_2$).

Необходимо определить результирующее четкое значение y_0 на основе входных четких значений x_1^* и x_2^* и нечетких правил П1 и П2.

1 2

Этапы алгоритма Мамдани представлены в табл. 1.2.

Алгоритм Ларсена схож с алгоритмом Мамдани; отличием является то, что на этапе активизации заключений нечеткая импликация моделируется с использованием операции алгебраического произведения *PROD* вместо оператора *MIN* в алгоритме Мамдани (табл. 1.2). В случае немонотонных входных нечётких множеств алгоритм Ларсена оказывается точнее алгоритма Мамдани.

Таблица 1.2
Алгоритмы Мамдани и Ларсена

№	Шаг алг-ма	Описание
1	Фаззификация	определяются степени истинности для предпосылок каждого правила: $A_1(x_1^*), A_2(x_2^*), B_1(x_1^*), B_2(x_2^*)$ 1 1 2 2
2	Агрегирование	определяются уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил с использованием операции « <i>min</i> »: $\alpha_1 = A_1(x_1^*) \wedge B_1(x_2^*); \quad \alpha_2 = A_2(x_2^*) \wedge B_2(x_1^*)$ 1 2 1 2
3	Активизация по Мамдани	определяются «усеченные» результирующие ФП (используется <i>min</i> -активизация): $C'(y) = (\alpha_1 \wedge C_1(y)); \quad C'(y) = (\alpha_2 \wedge C_2(y))$ 1 2
	Активизация по Ларсену	определяются «усеченные» результирующие ФП (используется <i>prod</i> -активизация): $C'(y) = (\alpha_1 \cdot C_1(y)); \quad C'(y) = (\alpha_2 \cdot C_2(y))$ 1 2
4	Аккумуляция	с использованием операции « <i>max</i> » производится объединение найденных усеченных ФП: $\mu_z(y) = C(y) = C'(y) \vee C'(y) = (\alpha_1 \wedge C_1(y)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(y))$ 1 2
5	Дефаззификация	нахождение y_0 проводится любым из методов дефаззификации

	фикация	
--	---------	--

2.2. Пример проектирования нечеткой экспертной системы для управления кондиционером воздуха в помещении

Разрабатывается НЭС для управления кондиционером воздуха в помещении. В помещении установлен бытовой кондиционер, который позволяет охлаждать или нагревать воздух. Очевидно, что наиболее комфортные условия создаются при некоторой стабильной температуре воздуха, однако из-за то, что температура среды вне помещения изменяется в течение суток, температура воздуха в помещении может колебаться. Задача состоит в том, чтобы разработать систему автоматического регулирования кондиционера для обеспечения постоянной температуры воздуха в помещении (рис. 1.3).

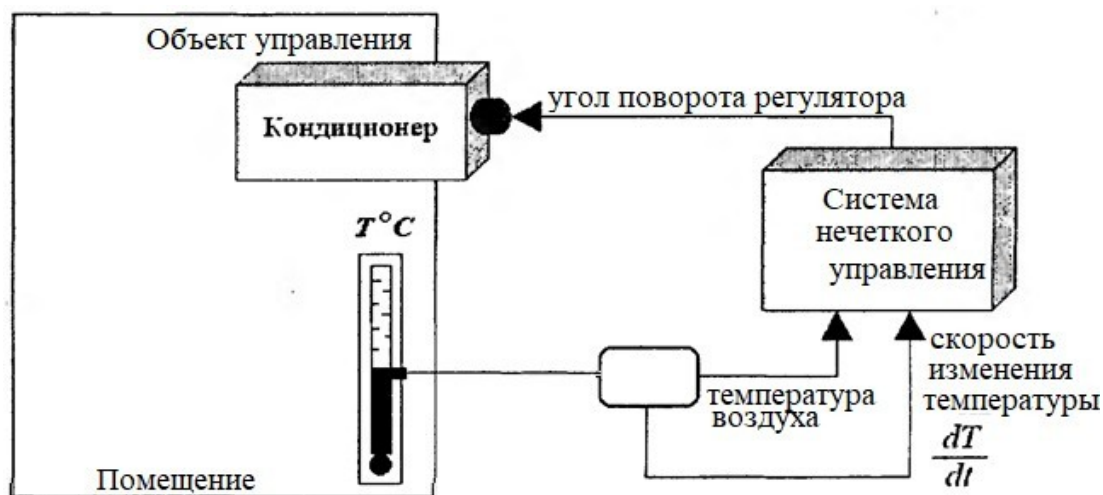


Рис. 1.3. Иллюстрация модели нечеткого управления кондиционером воздуха в помещении

Опыт использования бытовых кондиционеров показывает, что процесс охлаждения или нагревания воздуха в помещении обладает некоторой инерционностью; например, после включения режима «холод» происходит нагнетание холодного воздуха, что вызывает постепенное падение температуры, и даже в момент отключения этого режима температура все же продолжает падать в течение небольшого отрезка времени. Аналогичная ситуация наблюдается при включении и отключении режима «тепло». Поэтому необходимо рассматривать в качестве параметров объекта управления не только температуру воздуха в помещении, но и скорость изменения температуры.

Пусть в модели управления кондиционером включение режима «холод» осуществляется поворотом регулятора *влево*, а включение режима «тепло» – *вправо* относительно некоторой точки, в которой кондиционер выключен. Ручное регулирование температуры воздуха с помощью кондиционера позволило сформулировать следующие эвристические правила:

1. Если температура воздуха в помещении очень теплая, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на очень большой угол влево.

2. Если температура воздуха в помещении очень теплая, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол влево.

3. Если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на большой угол влево.

4. Если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры отрицательная, то кондиционер следует выключить.

5. 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.

6. Если температура воздуха в помещении очень холодная, а скорость изменения температуры положительная, то следует включить режим «тепло», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол вправо.

7. Если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры отрицательная, то следует включить режим «тепло», повернув регулятор кондиционера на большой угол вправо.

8. Если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры положительная, то кондиционер следует выключить.

9. 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.

10. Если температура воздуха в помещении теплая, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим «холод», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол влево.

11. 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.

12. Если температура воздуха в помещении холодная, а скорость изменения температуры равна нулю, то следует включить режим «тепло», повернув регулятор кондиционера на небольшой угол вправо.

13. 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.

14. 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.

15. Если температура воздуха в помещении в пределах нормы, а скорость изменения температуры равна нулю, то кондиционер следует выключить.

Построенные правила становятся основой базы правил системы нечеткого вывода модели нечеткого управления, для формирования которой необходимо предварительно определить входные и выходные ЛП.

Очевидно, что в качестве входных ЛП следует использовать температуру воздуха в помещении ($^{\circ}\text{C}$) и скорость изменения температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/\text{мин}$).

В качестве терм-множества первой входной ЛП x_1 «Температура воздуха» используется множество $A = \{\text{«очень холодная»}, \text{«холодная»}, \text{«в пределах нормы»}, \text{«теплая»}, \text{«очень теплая»}\}$, которое записывается в символическом виде: $A = \{NB, NS, Z, PS, PB\}$ (рис. 1.4).

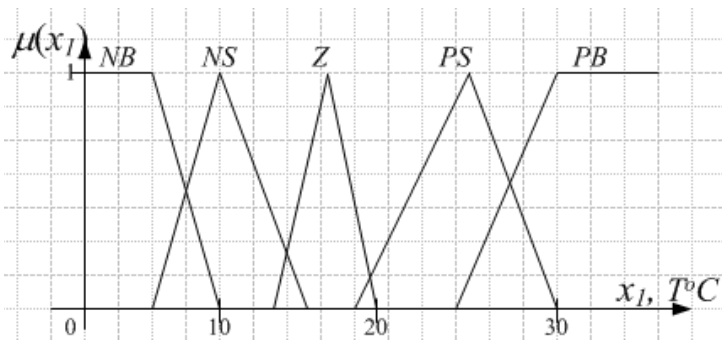


Рис. 1.4. График ФП для термов ЛП «Температура воздуха»

Терм-множеством второй входной ЛП x_2 «Скорость изменения температуры воздуха» является множество $V = \{\text{«отрицательная»}, \text{«равна нулю»}, \text{«положительная»}\}$, или $V = \{NS, Z, PS\}$ (рис. 1.5).

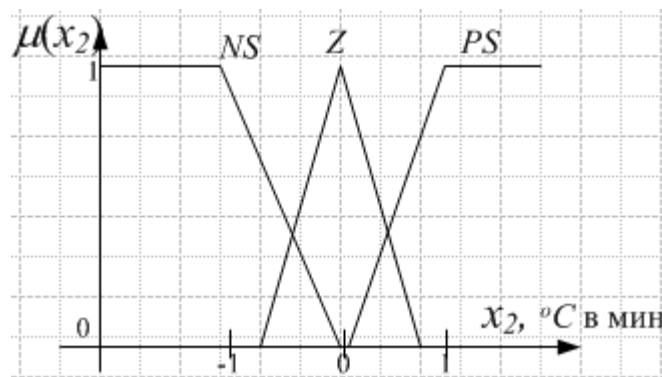


Рис. 1.5. График ФП для термов ЛП «Скорость изменения температуры»

В качестве выходной ЛП используется u – «угол поворота регулятора» включения режимов «холод» и «тепло» кондиционера, измеряемый в угловых градусах: поворот регулятора вправо означает включение режима «тепло» и положительное направление отсчета, а поворот влево – включение режима «холод» и отрицательное направление отсчета. Терм-множеством ЛП u является $C = \{\text{«очень большой угол влево»}, \text{«большой угол влево»}, \text{«небольшой угол влево»}, \text{«выключить кондиционер»}, \text{«небольшой угол вправо»}, \text{«большой угол вправо»}, \text{«очень большой угол вправо»}\}$ или в символическом виде $C = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ с кусочно- линейными ФП (рис. 1.6).

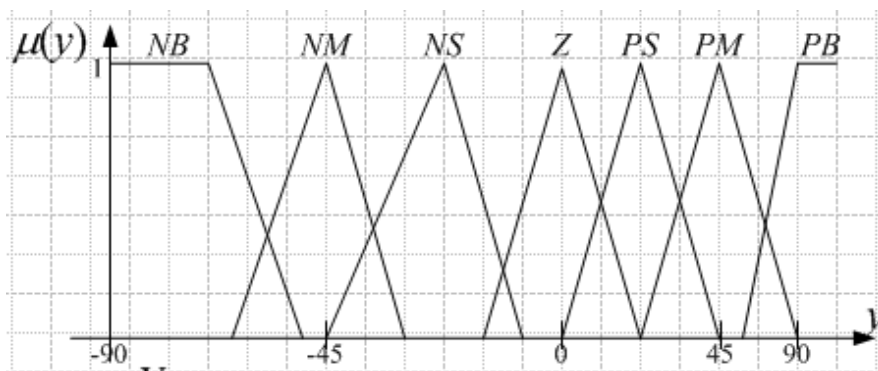


Рис. 1.6. График ФП для термов ЛП «Угол поворота регулятора»

База нечетких правил НЭС в матричном виде и в виде продукционных правил представлена в табл. 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3

База нечетких правил в матричном виде

	<i>NS</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>
<i>NB</i>	<i>PB</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>
<i>NS</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>Z</i>
<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>Z</i>	<i>NS</i>
<i>PS</i>	<i>Z</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>
<i>PB</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NB</i>

Таблица 1.4

База нечетких правил в виде продукционных правил

№	Правила
1	ЕСЛИ $x_1 = PB$ И $x_2 = PS$, ТО $y = NB$
2	ЕСЛИ $x_1 = PB$ И $x_2 = NS$, ТО $y = NS$
3	ЕСЛИ $x_1 = PS$ И $x_2 = PS$, ТО $y = NM$
4	ЕСЛИ $x_1 = PS$ И $x_2 = NS$, ТО $y = Z$
5	ЕСЛИ $x_1 = NB$ И $x_2 = NS$, ТО $y = PB$
6	ЕСЛИ $x_1 = NB$ И $x_2 = PS$, ТО $y = PS$
7	ЕСЛИ $x_1 = NS$ И $x_2 = NS$, ТО $y = PM$
8	ЕСЛИ $x_1 = NS$ И $x_2 = PS$, ТО $y = Z$
9	ЕСЛИ $x_1 = PB$ И $x_2 = Z$, ТО $y = NM$
10	ЕСЛИ $x_1 = PS$ И $x_2 = Z$, ТО $y = NS$
11	ЕСЛИ $x_1 = NB$ И $x_2 = Z$, ТО $y = PM$
12	ЕСЛИ $x_1 = NS$ И $x_2 = Z$, ТО $y = PS$
13	ЕСЛИ $x_1 = Z$ И $x_2 = PS$, ТО $y = NS$
14	ЕСЛИ $x_1 = Z$ И $x_2 = NS$, ТО $y = PS$
15	ЕСЛИ $x_1 = Z$ И $x_2 = Z$, ТО $y = Z$

На рис. 1.7 приведен пример работы алгоритма НЛВ Мамдани для случая, когда текущая температура воздуха в помещении равна $x^* = 19,5$ °С, а скорость изменения температуры положительная и равна $x^* = 0,2$ С/мин. Соответствующие подусловия используются в правилах нечетких продукций с номерами 3, 10, 13, 15. Эти правила считаются активными и используются в процессе нечеткого вывода. Результаты фаззификации переменных:

$$\mu_z(x_1^* = 19,5) = 0,5$$

$$\mu_{ps}(x_1^* = 19,5) = 0,2$$

$$\mu_z(x^* = 0,2) = 0,7$$

$$\mu_{ps}(x^* = 0,2) = 0,3$$

После агрегирования подусловий и активизации заключений в нечетких правилах продукций образуются «усеченные» ФП выходной переменной для каждого из правил, степени истинности для предпосылок каждого правила представлены ниже:

$$\text{Правило 3: } \mu_{NM}(y)|_{x^*=19,5, x^*=0,2} = \min\{\min\{\mu_{ps}(x^*); \mu_{ps}(x^*)\}; \mu_{NM}(y)\} = 0,2;$$

$$\text{Правило 10: } \mu_{NS}(y)|_{x^*=19,5, x^*=0,2} = \min\{\min\{\mu_{ps}(x^*); \mu_z(x^*)\}; \mu_{NS}(y)\} = 0,2;$$

$$\text{Правило 13: } \mu_{NS}(y)|_{x^*=19,5, x^*=0,2} = \min\{\min\{\mu_z(x^*); \mu_{ps}(x^*)\}; \mu_{NS}(y)\} = 0,3;$$

$$\text{Правило 15: } \mu_z(y)|_{x^*=19,5, x^*=0,2} = \min\{\min\{\mu_z(x^*); \mu_z(x^*)\}; \mu_z(y)\} = 0,5.$$

После аккумуляирования заключений нечетких правил продукций с использованием операции *max*-дизъюнкции формируется нечеткое множество с ФП:

$$\mu_{res}(y) = \max\{\mu_{NM}(y); \mu_{NS}(y); \mu_{NS}(y); \mu_z(y)\}.$$

Далее проводится дефаззификация методом центра тяжести; если допустить, что результирующее нечеткое множество является дискретным, то приближенное значение управляющей переменной

$$\text{определяется по формуле: } y^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot \mu_{res}(y)}{\sum_{i=1}^n \mu_{res}(y)}.$$

$$\sum_{i=1}^n y_i \cdot \mu_{res}(y)$$

$$\sum_{i=1}^n \mu_{res}(y)$$

Σ

$$\sum_{i=1}^n y_i \cdot \mu_{\text{res}}(y) = (-70) \cdot 0 + (-65 - 60 - 55 - 50 - 45) \cdot 0,2 + (-35 - 30 - 25 - 20) \cdot 0,3 + (-15) \cdot 0,4 + (-10 - 5 + 0 + 5 + 15) \cdot 0,5 + 15 \cdot 0 = -106;$$

$$y_i \cdot \mu_{\text{res}}(y) = 0 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,4 + 0,5 \cdot 4 + 0 = 5,4;$$

$$y^* = \frac{-106}{5,4} = -19,6296 \approx -20^\circ.$$

Итак, значение управляющей переменной y^* – угол поворота регулятора кондиционера влево – равен приблизительно 20° . Это значение соответствует включению режима «холод» на пятую часть своей мощности и является результатом решения задачи нечеткого вывода.

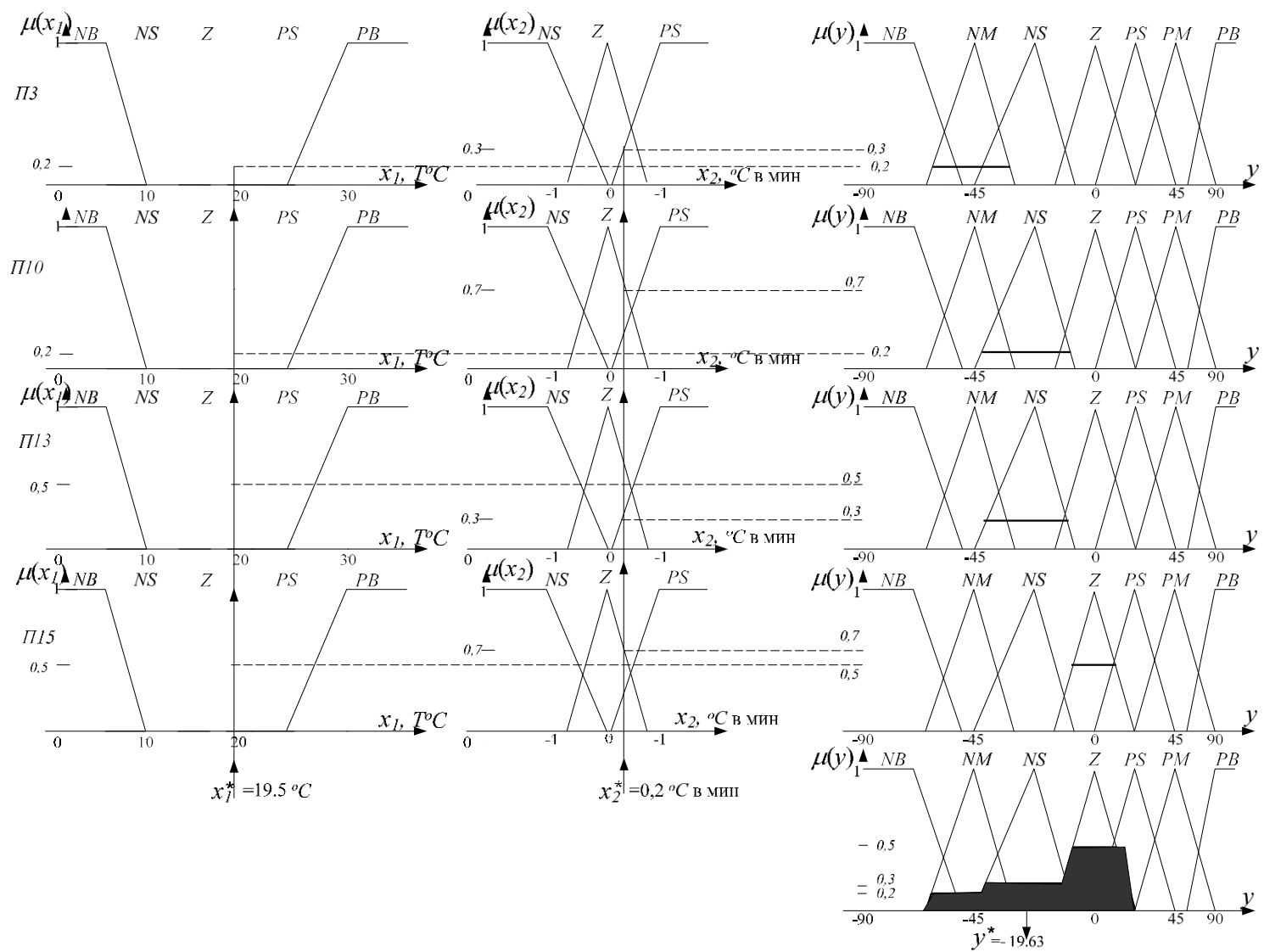


Рис. 1.7. Процедура нечеткого логического вывода на примере алгоритма Мамдани

2.3. Проектирование нечетких экспертных систем в *Matlab*

Для проектирования ЭС на основе нечеткой логики используется пакет расширения *Matlab – Fuzzy Logic Toolbox*, который поддерживает все стадии разработки нечетких систем; встроенные *GUI*-модули обеспечивают удобную среду с графическим интерфейсом.

Интерактивный режим разработки экспертных систем как систем нечеткого вывода (СНВ) осуществляется с использованием *GUI*-модулей *Fuzzy Inference System (FIS)* (рис. 1.8):

- редактор общих свойств *FIS Fuzzy Logic Designer* – основное средство, которое используется для создания или редактирования СНВ в графическом режиме;
- редактор функций принадлежности *Membership Function Editor* для задания и редактирования функций принадлежности;

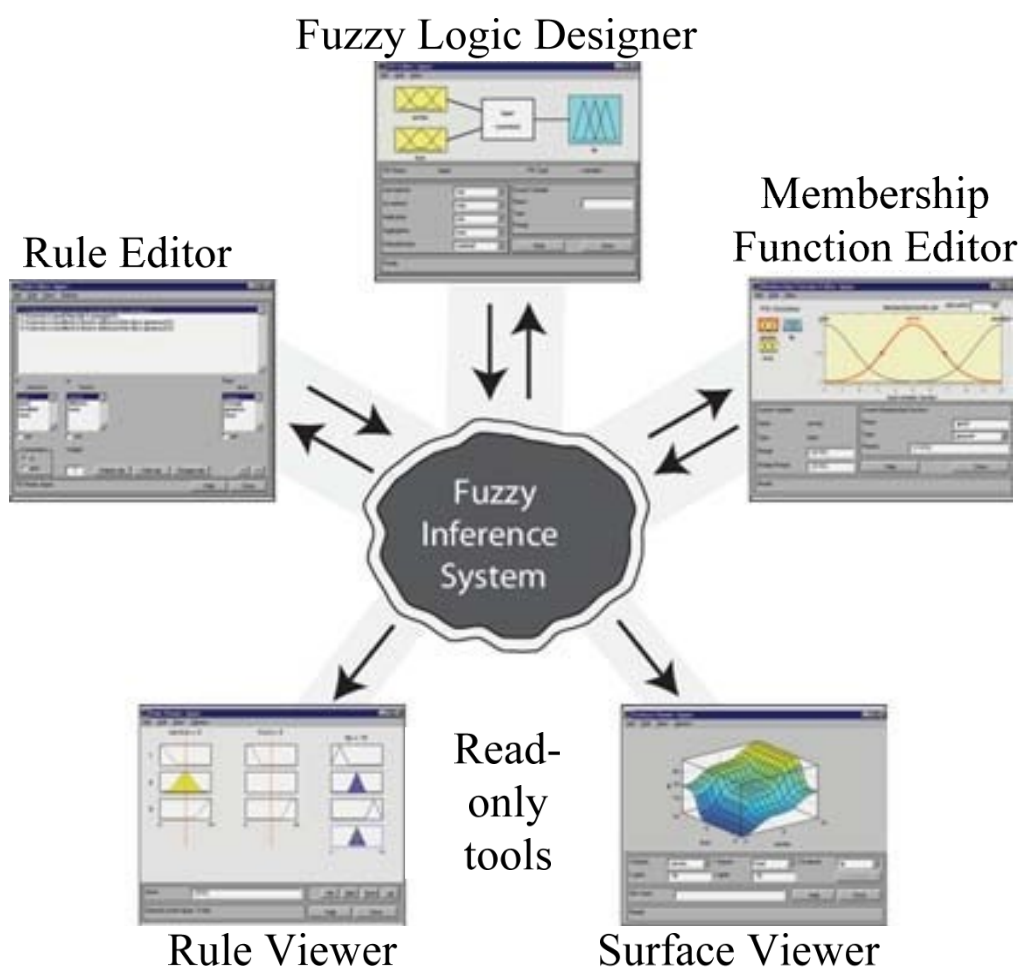


Рис. 1.8. Компоненты *Fuzzy Inference System Editor*

- редактор нечеткой базы знаний *Rule Editor* для задания и редактирования отдельных правил системы нечеткого вывода;
- программа просмотра (браузер) нечеткого вывода *Rule Viewer*;
- программа просмотра (браузер) поверхности *Surface Viewer* для визуализации графиков зависимости выходных переменных от отдельных входных переменных.

3. Методика выполнения работы

Обобщенная процедура построения нечеткой экспертной системы в *Matlab* рассматривается на примере задачи проектирования НЭС для управления кондиционером воздуха в помещении (п. 2.2).

3.1. Идентификация задачи проектирования НЭС

Первым этапом построения нечеткой экспертной системы является этап *идентификации* задачи проектирования НЭС:

- 1) формулируются цели построения ЭС;
- 2) определяются задачи, которые должна решать ЭС?;
- 3) устанавливается структура поддерживающих ее знаний.

Цель построения ЭС состоит в автоматическом регулировании кондиционера для обеспечения постоянной температуры воздуха в помещении.

Задачами системы является определение значений переменной «угол поворота регулятора» кондиционера воздуха, которые должны изменяться в зависимости от текущих значений переменных «Температура воздуха» и «Скорость изменения температуры воздуха». Диапазон показателей целевой переменной варьируется, начиная от «очень большого угла влево» до «очень большого угла вправо» и направлен на включение режимов «холод» и «тепло» кондиционера.

Дерево целей, представленное на рис. 1.9, является не только способом структуризации задачи, но и инструментом формализации знаний в виде правил, направленных на достижение целевой переменной.

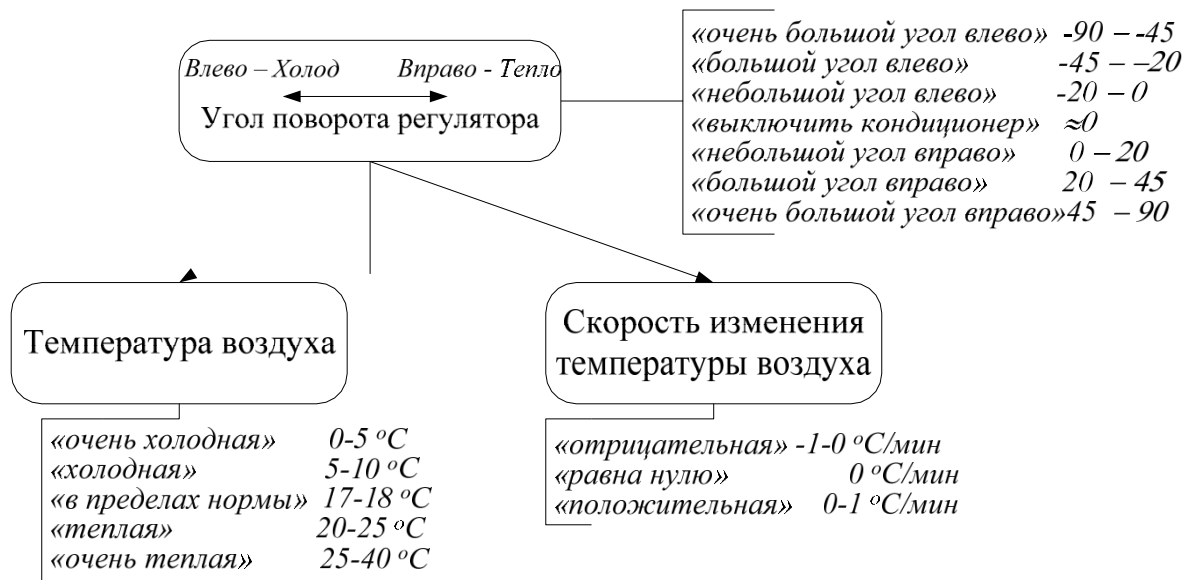


Рис. 1.9. Дерево целей системы управления кондиционером воздуха

Построение правил по дереву целей осуществляется снизу вверх, например, в виде: «ЕСЛИ температура воздуха = очень теплая И скорость изменения температуры воздуха = положительная, ТО угол поворота регулятора = очень большой угол влево».

3.2. Проектирование нечеткой системы

На следующем этапе осуществляется проектирование нечеткой системы. Для этого командой *fuzzy* в строке *Matlab* осуществляется загрузка основной интерфейсной программы пакета *Fuzzy Logic Toolbox* – *FIS*-редактор, который позволяет задать тип системы, ее имя, количество входных и выходных переменных, параметры СНВ.

Откроется новое графическое окно (рис. 1.10) с именем системы нечеткого вывода *Untitled* (расширение *.fis).

По команде *File/New FIS...* создается новая система нечеткого вывода (СНВ) (в рассматриваемом примере – *Conditioner*); при ее вызове появляются две альтернативы *Mamdani* и *Sugeno*, задающие тип нечеткой системы (оставить тип СНВ *Mamdani* – по умолчанию).

Команда *File/Import* загружает ранее созданную и сохраненную систему либо из рабочей области *From Workspace...* или из файла *From Disk....* Команда *File/Export* сохраняет систему в рабочую область или на диск.

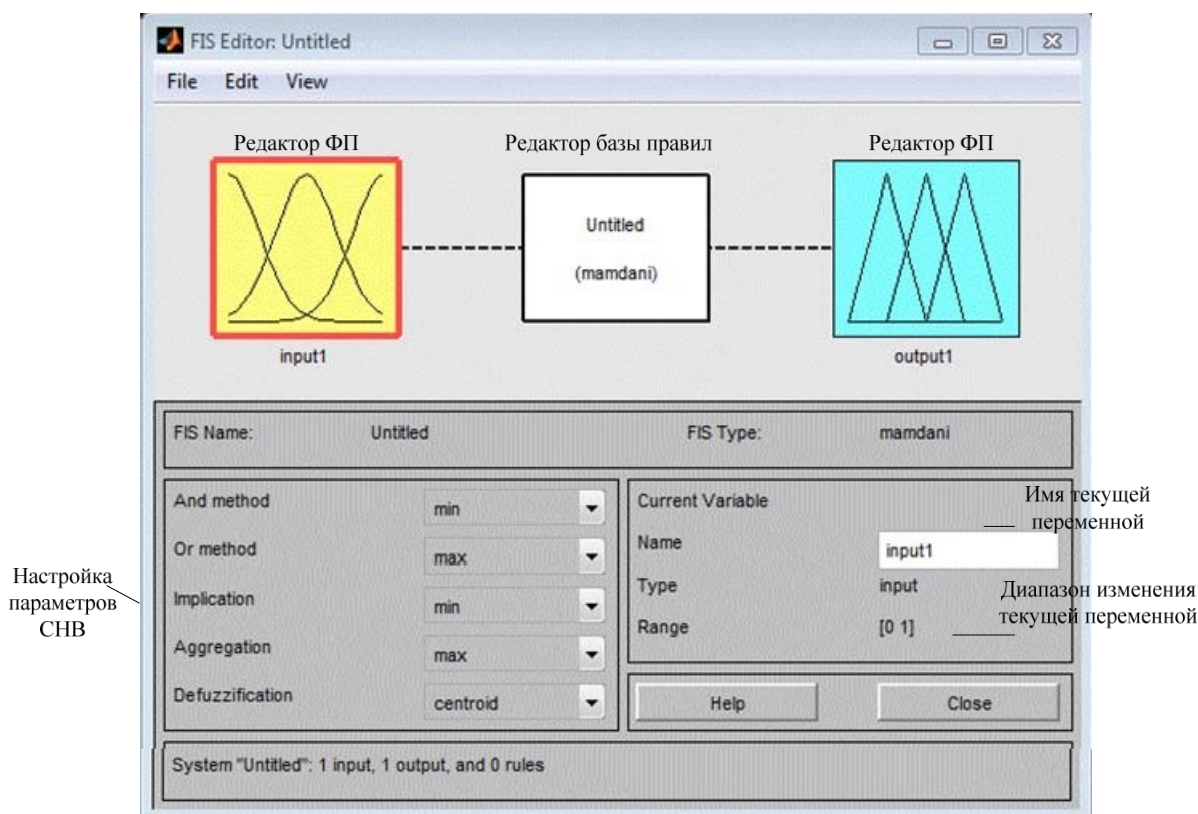


Рис. 1.10. Графический интерфейс редактора FIS

3.2.1. Описание входных и выходных переменных

Для построения СНВ требуются две входные и одна выходная переменная (рис. 1.11).

Первую входную переменную *input1*, заданную по умолчанию, необходимо переименовать, щелкнув левой кнопкой мыши на названии переменной и введя новое имя *Температура* в поле редактирования имени текущей переменной.

Аналогичным образом переименовывается выходная переменная *output1* на *Угол*.

Вторая входная переменная *Скорость* добавляется в СНВ по команде *File/Add Variable*.

Для определения лингвистических терм-множеств входных и выходных переменных вызывается редактор ФП *Membership Function Editor* – либо двойным щелчком на значке прямоугольника с именем соответствующей переменной либо командой *Edit / Membership Functions...* (предварительно должен быть выделен значок соответствующей ЛП).

В редакторе ФП переменной *Температура* вносятся изменения в соответствии с графиком ФП ЛП «Температура воздуха» (рис. 1.4, п. 2.2) следующим образом.

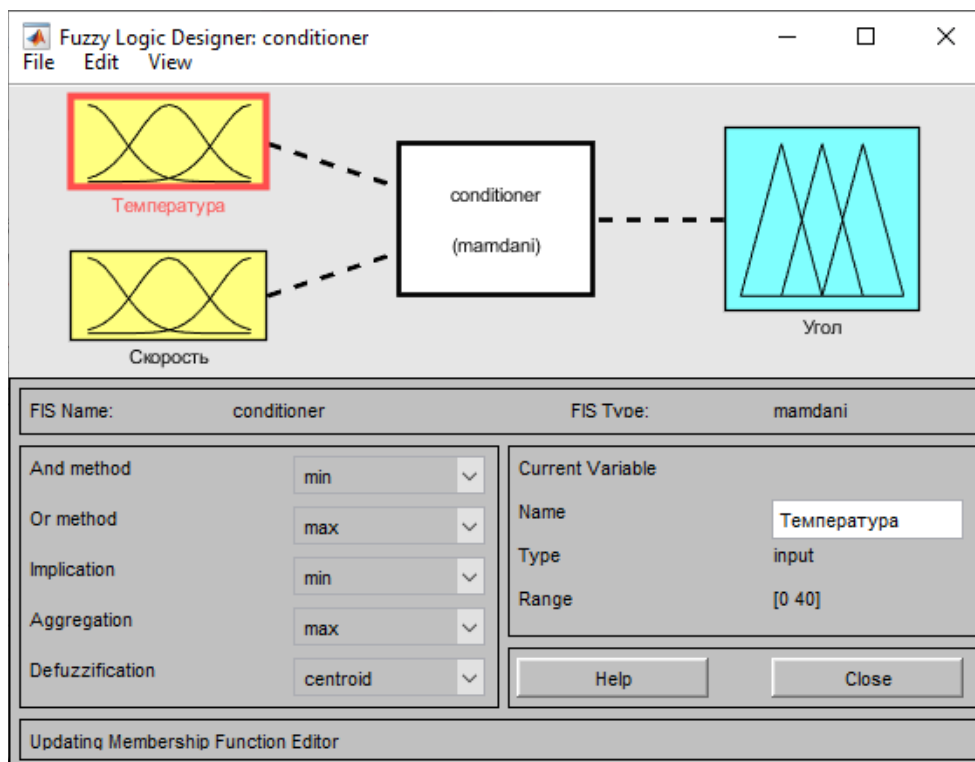


Рис. 1.11. Определение входных и выходных переменных СНВ Conditioner

Сначала устанавливается новый диапазон определения значений переменной: в полях ввода *Range* и *Display Range* изменяются значения с 0 °С до 40 °С. Редактор ФП по умолчанию предлагает три терма с треугольными ФП, однако терм-множество ЛП «Температура воздуха» состоит из 5 термов {NB, NS, Z, PS, PB}.

Добавление термов в терм-множество текущей переменной осуществляется командой *Edit/Add MFs....*; в появившемся окне указывается количество добавляемых термов и тип их ФП. Для равномерного ввода термов ЛП рекомендуется перед добавлением новых термов удалить все имеющиеся термы, выделяя их указателем мыши и нажимая *Delete*.

Редактирование формы ФП с изменением границ и диапазонов осуществляется с помощью указателя мыши непосредственно на графике. Тип ФП указывается в поле *Type* – выбирается из списка; *Fuzzy Logic Toolbox* включает 11 встроенных типов ФП (рис. 1.12).

Имя терма вводится в поле *Name*, а поле *Params* автоматически заполняется параметрами ФП при изменении границ – в случае необходимости можно установить вручную значения ФП в квадратных скобках в поле *Params*.

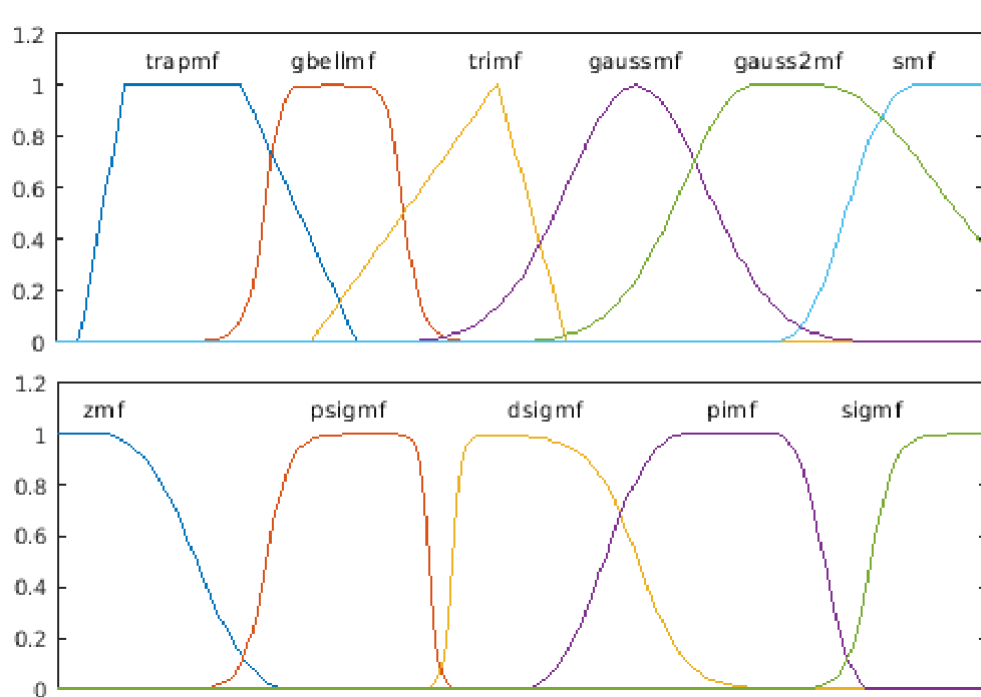


Рис. 1.12. Типы ФП в Fuzzy Logic Toolbox

Для ЛП *Температура* устанавливаются следующие параметры ФП: терм *NB* трапециевидной формы (*trapmf*) [-1 0 5 10]; терм *NS* треугольной формы (*trimf*) [5 10 15]; *Z* (*trimf*) [13,5 17 20,45], *PS* (*trimf*) [19 24 29], *PB* (*trapmf*) [25 30 42 43]. Построенные ФП для входной переменной «Температура» в редакторе *Membership Function Editor* представлены на рис. 1.13.

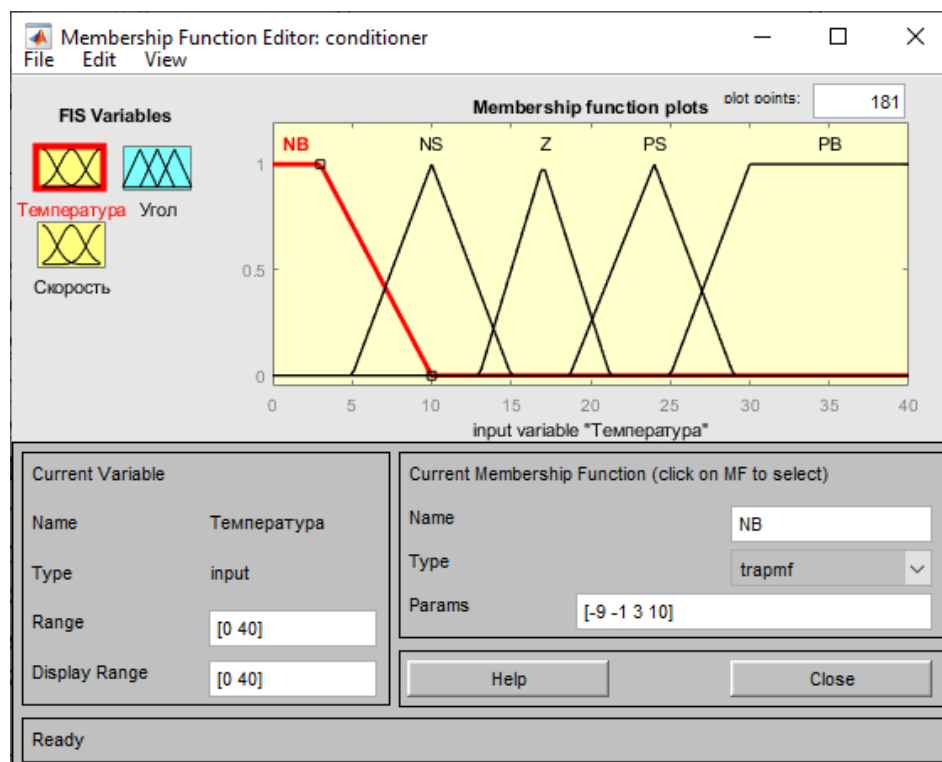


Рис. 1.13. ФП для входной переменной «Температура»

Аналогичным образом строятся ФП для входной переменной *Скорость*, в которую вносятся изменения в соответствии с графиком ФП ЛП «Скорость изменения температуры воздуха» (рис. 1.5, п. 2.2). Диапазон значений переменной устанавливается от -2 до 2 °C/мин. Термножество состоит из 3 термов $\{NS, Z, PS\}$ (рис. 1.14): NS (*trapmf*) $[-3 -2 -1 0]$; Z (*trimf*) $[-0,7 0 0,7]$, PS (*trapmf*) $[0 1 2 3]$.

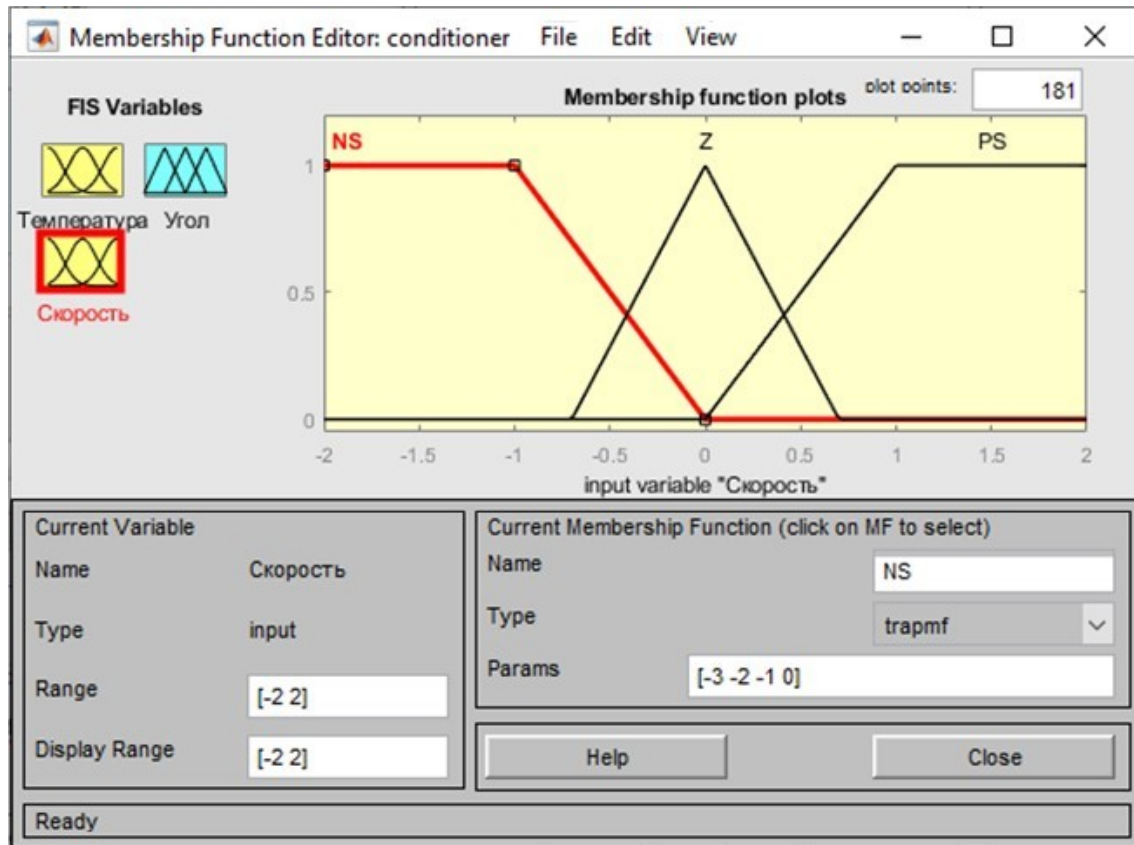


Рис. 1.14. ФП для входной переменной «Скорость»

И, наконец, для выходной переменной *Угол* в редакторе *Membership Function Editor* строятся ФП в соответствии с графиком ФП ЛП «Угол поворота регулятора» (рис. 1.6, п. 2.2). Диапазон значений переменной устанавливается от -90 до 90 угловых градусов. Термножество ЛП разделено на 7 термов $\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ (рис. 1.15): NB (*trapmf*) $[-106 -100 -75 -50]$; NM (*trimf*) $[-70 -45 -25]$; NS (*trimf*) $[-45 -25 -5]$; Z (*trimf*) $[-15 0 15]$, PS (*trimf*) $[5 25 45]$, PM (*trimf*) $[25 45 70]$, PB $[50 75 100 105]$.

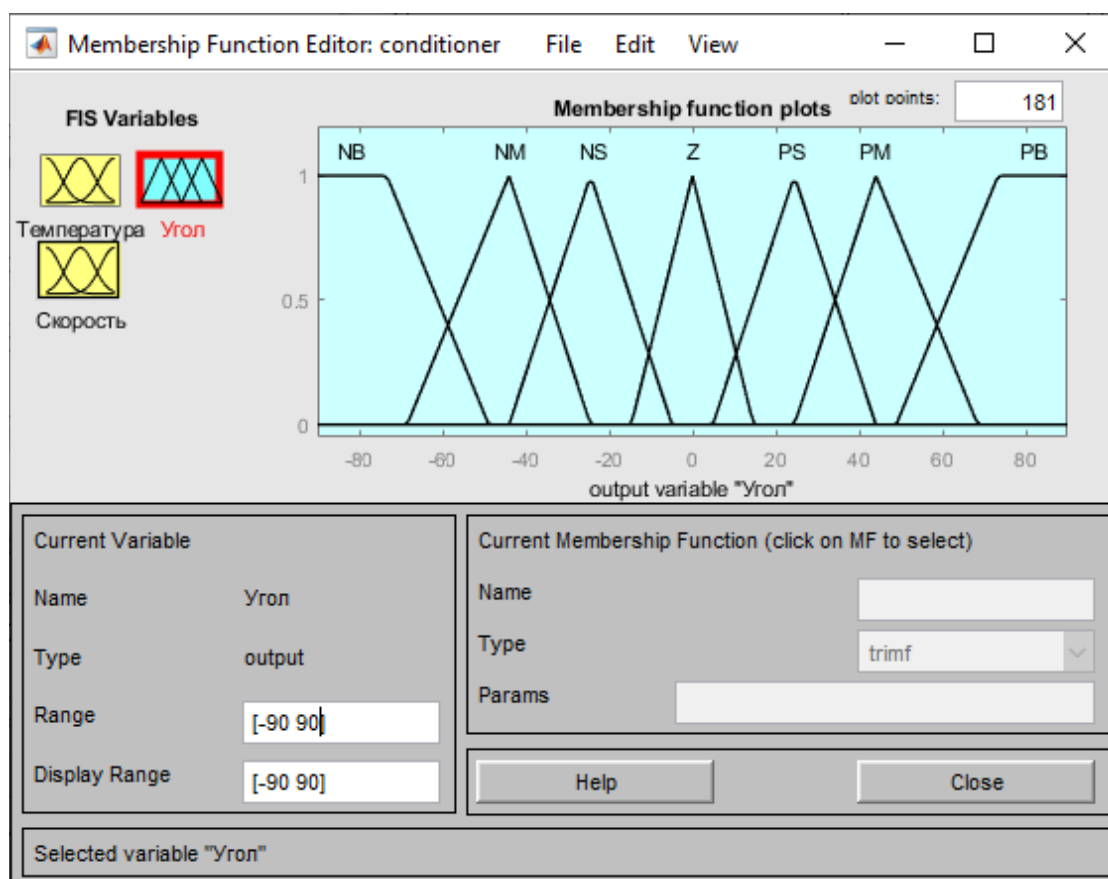


Рис. 1.15. ФП для выходной переменной «Угол»

CHB

3.2.2. Ввод и редактирование правил. Настройка параметров

Разработка правил нечеткой экспертной системы проводится в редакторе правил *Rule Editor*, запускаемого командой *Edit/Rules* (рис. 1.16). Для ввода разработанных ранее правил НЭС (см. табл. 1.3, 1.4, п. 2.2) в редакторе правил нужно выбрать соответствующую комбинацию лингвистических термов входных и выходных переменных, выбрать тип их логической связки (*И* или *ИЛИ*) и нажать кнопку *Add Rule*. Если переменная в правиле не используется, то вместо ее термина нужно выбрать *none*. Для удаления правила применяется команда *Delete Rule*, для редактирования – *Edit Rule*.

Под графическим окном главного окна редактора *FIS Matlab* (см. рис. 1.10) расположена область настройки параметров СНВ:

- метод нечеткого логического *И* (*And method*) устанавливает реализацию логического *И*: *MIN* или *PROD*;
- метод нечеткого логического *ИЛИ* (*Or method*) устанавливает реализацию логического *ИЛИ*: *MAX* или *PROBOR*;

- метод импликации (*Implication*) устанавливает реализацию импликации *MIN* (в методе Мамдани) или *PROD* (в методе Ларсена) на этапе активизации заключений;
- метод агрегирования (*Aggregation*) – устанавливает в нечетком выводе Мамдани следующие типы агрегации: *MAX*, *SUM*, *PROBOR*
- метод дефаззификации (*Defuzzification*) – для системы Мамдани используются методы: *centoid* – центр тяжести, *bisector* – медиана, *lom* – наибольший из максимумов.

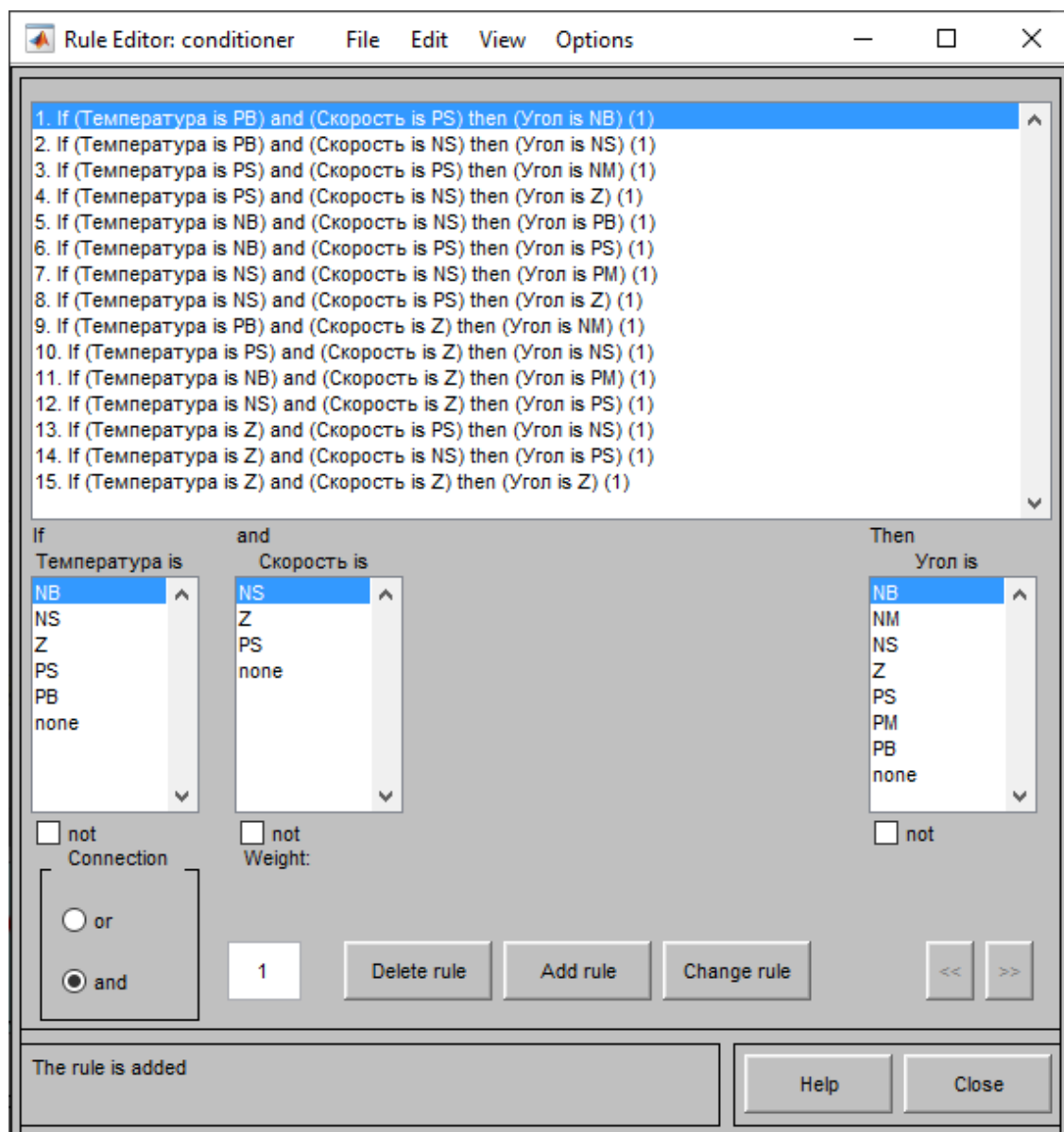


Рис. 1.16. Правила в редакторе *Rule Editor* для *CHB Conditioner*

3.3. Просмотр результатов работы СНВ

Командой *View/Rules* запускается редактор просмотра срабатывания правил *Rule Viewer* построенной СНВ. Редактор позволяет проводить оценку работы СНВ в режиме «что-если»: в поле *Input* или сдвиганием положения красной линии-курсора устанавливаются значения входных переменных; затем на основе процедуры нечеткого вывода вычисляется значение результирующей переменной.

Например, при инициализации входных значений для системы автоматического управления кондиционером в помещении, когда текущая температура воздуха в помещении равна $19,5^{\circ}\text{C}$, а скорость ее изменения положительная и составляет $0,2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, процедура нечеткого вывода возвращает значение выходной переменной «угол», равное $-19,7^{\circ}$ (рис. 1.17).

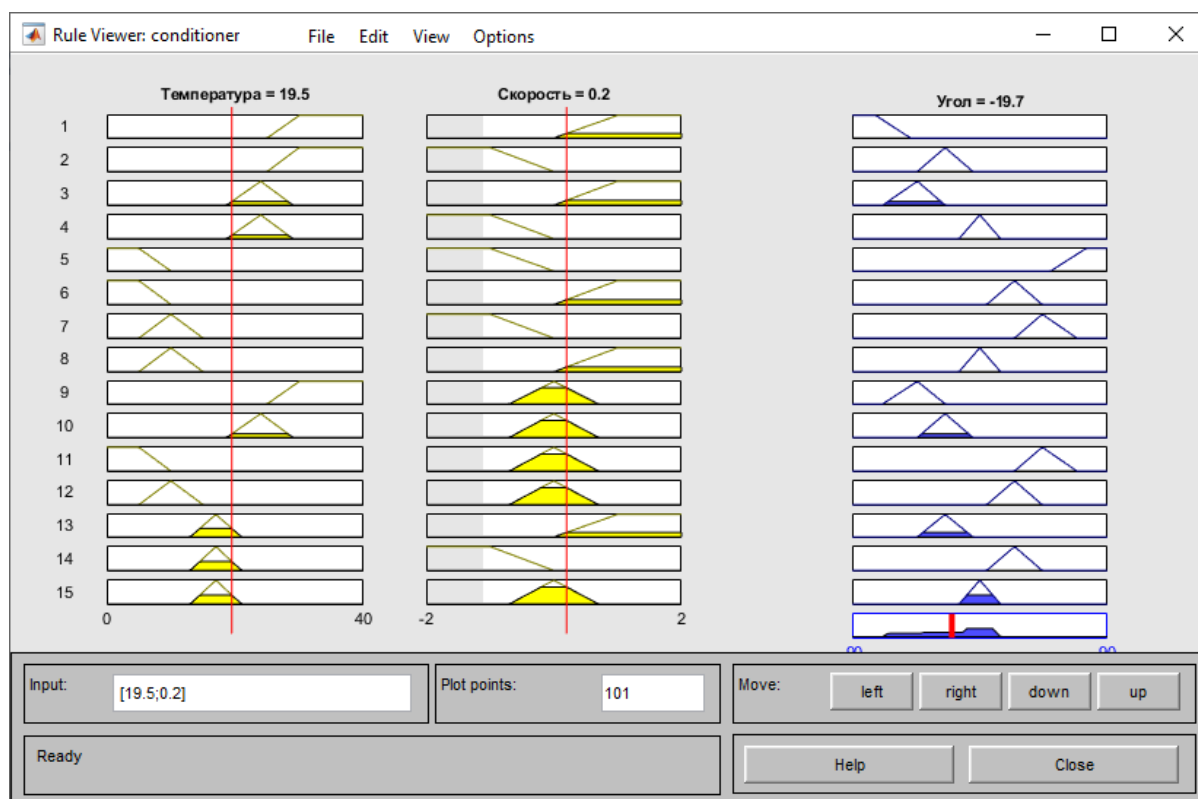


Рис. 1.17. Результаты работы СНВ в редакторе *Rule Viewer* для СНВ *Conditioner*

Сравнение результатов нечеткого вывода для этих значений входных переменных, полученные на основе численных расчетов ($\approx 20^{\circ}$ влево) и с помощью разработанной нечеткой модели *Matlab*, показывает согласованность модели.

Для проверки адекватности модели необходим процесс исследования, включающего группу экспериментов с выполнением нечеткого вывода для различных значений входных переменных и оценки полученных результатов.

Визуальная проверка адекватности СНВ осуществляется с помощью программы просмотра *Surface Viewer* (рис. 1.18), запускаемой командой *View/Surface*.

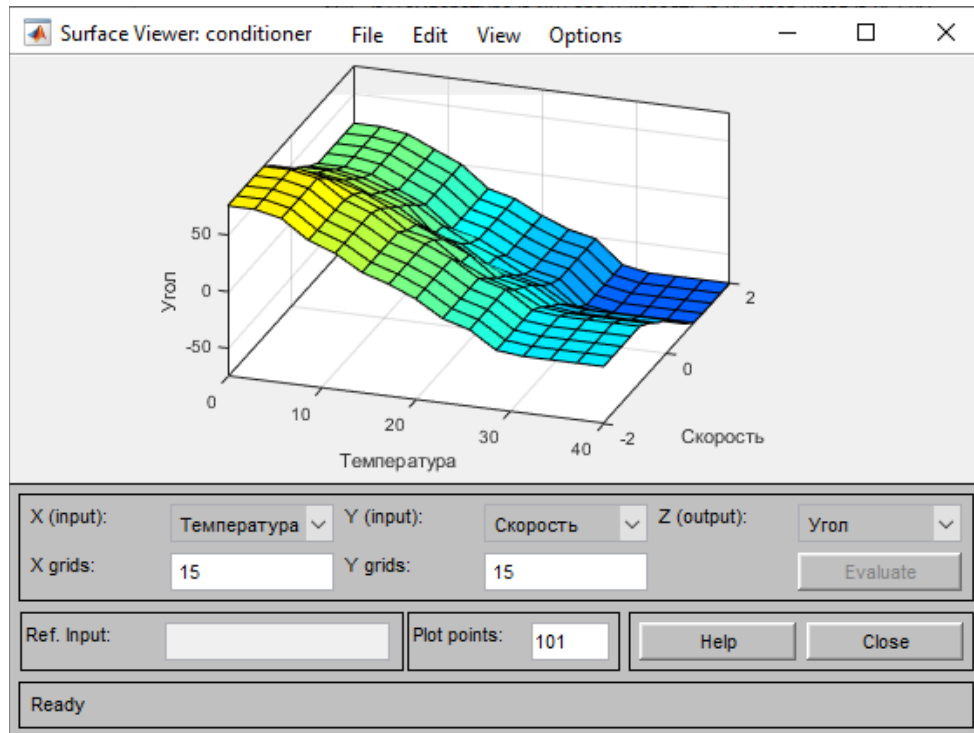


Рис. 1.18. Визуализация поверхности СНВ *Conditioner*

Для анализа разработанной нечеткой модели полезной является визуализация трехмерной поверхности нечеткого вывода, которая позволяет установить зависимость значений выходной переменной от значений входных переменных и служить основой для внесения изменений в СНВ.

3.4. Построение подсистемы нечеткого регулирования системы управления в *Simulink Matlab*

При проектировании интеллектуальных систем управления нечеткие модели встраивают в контур сложных систем управления: например, при построении моделей динамических систем в пакете *Simulink Matlab* управляющими подсистемами выступают нечеткие регуляторы (контроллеры) верхнего уровня, представленные в виде *FIS*-модели.

На рис. 1.19 изображена подсистема нечеткого регулирования системы управления кондиционером *Conditioner* в среде структурного моделирования *Simulink Matlab*.

Входами модели являются структурные элементы *Температура* и *Скорость изменения температуры* вида *Constant*, которые через мультиплексор *MUX* подаются на блок *Fuzzy Logic Controller* с именем *Fuzzy регулятор*.

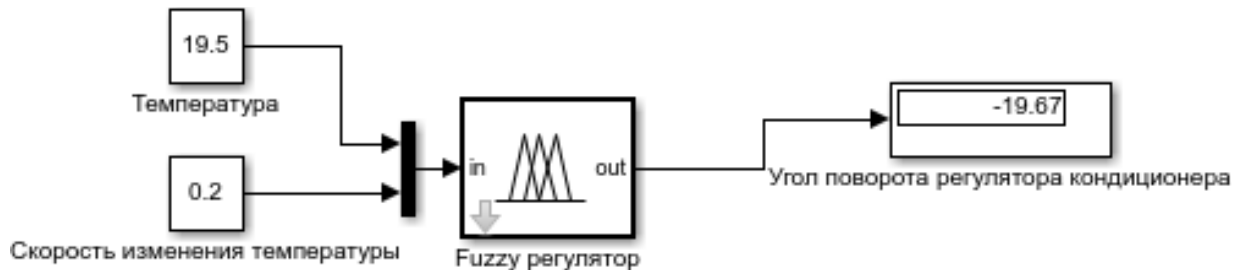


рис. 1.19. Подсистема нечеткого регулирования системы управления кондиционером в *Simulink Matlab*

В окне параметров блока *Fuzzy Logic Controller* указывается имя разработанной ранее СНВ *Conditioner* как *.*fis*-файла:

FIS name: "conditioner.fis"

При запуске модели командой *Run* в блоке *Fuzzy регулятор* осуществляется нечеткий логический вывод на основе информации, поступающей с датчиков о температуре и скорости изменения температуры, и определяется результирующая переменная *Угол поворота регулятора кондиционера*, которая из *FIS*-файла передается на элемент *Display*.

Следует отметить, что динамическая модель может не сработать, если *FIS*-файл не будет предварительно загружен в рабочую область *WorkSpace Matlab*. Для автоматической загрузки файла в рабочую область необходимо в окне динамической модели из контекстного меню выбрать пункт *Model Properties*, в открывшемся окне выбрать вкладку *Callbacks* и в поле *Model PreloadFcn* ввести команду *conditioner=readfis('conditioner.fis')*, как показано на рис. 1.20. Эта команда каждый раз при открытии файла модели будет помещать файл '*conditioner.fis*' в рабочее пространство *WorkSpace Matlab*.

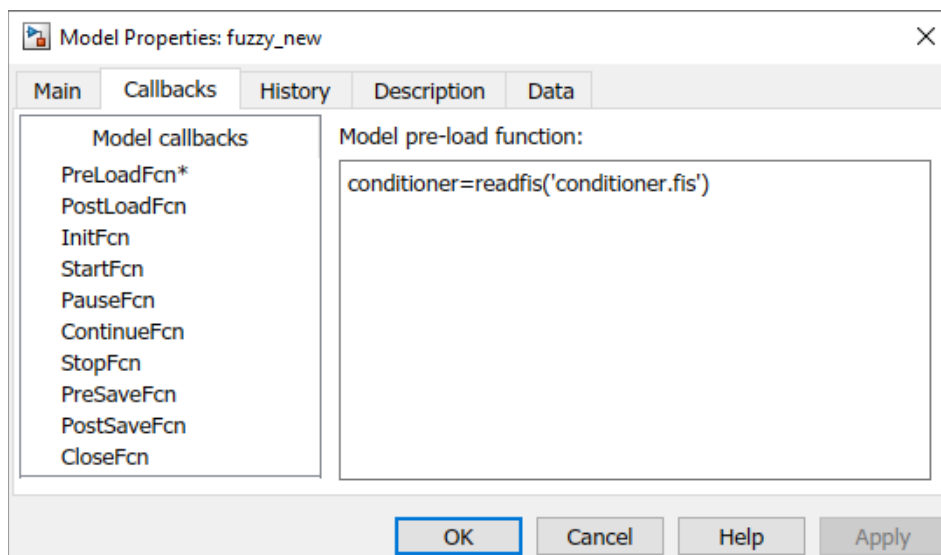


Рис. 1.20. Экранная форма со свойствами динамической модели

Следует отметить, что для настройки подсистемы нечеткого регулирования необходим пересмотр используемых лингвистических значений, а также правил и методов логического вывода.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методику построения нечетких экспертных систем в системе *FIS Matlab*.
2. Провести этап идентификации задачи проектирования НЭС:
 - сформулировать цели и задачи построения НЭС;
 - разработать дерево целей с целевыми переменными на 1–2 уровнях и общим количеством переменных, равным 3–5;
 - указать возможные значения каждой переменной в виде термов; количество термов – от 3 до 5;
 - определить предварительную структуру правил базы знаний.
3. С использованием пакета расширения *Fuzzy Logic Toolbox* системы *Matlab* в интерактивном режиме разработки экспертных систем с использованием GUI-модулей *Fuzzy Inference System (FIS)* спроектировать нечеткую экспертную систему как СНВ.
 - 3.1. Описать входные и выходные переменные как лингвистические переменные; построить функции принадлежности для каждого терма.
 - 3.2. Разработать нечеткие правила базы знаний НЭС, общее количество правил должно быть не менее 10. Задать в параметрах СНВ метод нечеткого логического вывода и метод дефаззификации.

4. Оценить адекватность построенной модели нечеткой экспертной системы на основе визуальной проверки поверхности СНВ и по результатам экспериментальных исследований.

5. Провести экспериментальные исследования построенной модели НЭС для одной комбинации точных исходных значений входных переменных x^* при которой срабатывают несколько правил одновременно, выполняя нечеткий логический вывод для них. Результаты экспериментов занести в табл. 1.5.

Провести сравнительный анализ результатов и сделать выводы.

6. Подтвердить полученный результат выполнением вручную процедуры нечеткого логического вывода на основе алгоритмов Мамдани или Ларсена, построением графика результирующей функции принадлежности для одного эксперимента и определением точного значения результирующей переменной y^* .

Таблица 1.5

Результаты экспериментальных исследований

№	Метод нечеткого логического вывода	Метод дефаззификации	Результаты y^*
Исходные данные: значения входных переменных x^*			i
1	Алгоритм Мамдани	Метод центра тяжести	
2		Левого максимума	
3		Правого максимума	
4	Алгоритм Ларсена	Метод центра тяжести	
5		Левого максимума	
6		Правого максимума	

7. Построить модель фрагмента нечеткой системы управления в *Simulink Matlab*. Провести экспериментальные исследования и убедиться в правильности работы модели.

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Цели и задачи построения нечеткой ЭС для заданной предметной области; дерево целей с указанием термов.
3. Графики функций принадлежности входных и выходных лингвистических переменных.
4. Список нечетких правил базы знаний НЭС.

5. Результаты оценки адекватности построенной модели НЭС (график поверхности СНВ, результаты нечеткого вывода с различными входными данными и выходными результатами).

6. Результаты экспериментальных исследований построенной модели НЭС для одной комбинации входных переменных и различных методов нечеткого логического вывода и метода дефазификации. Выводы, сделанные по результатам сравнительного анализа исследований.

7. Выполненная вручную процедура нечеткого логического вывода на основе алгоритмов Мамдани или Ларсена.

8. Выводы.

Варианты заданий

Варианты заданий могут быть предложены студентами самостоятельно или выбраны из табл. 1.6, содержащей основные типы решаемых ЭС задач и примеры ЭС.

Таблица 1.6

Тип задачи и ее характеристика	Пример ЭС
1	2
<i>Интерпретации данных</i> — определение смысла данных (например, результатов исследования)	ЭС интерпретации геофизических данных ЭС определения основных свойств личности по результатам психодиагностического тестирования
<i>Диагностики</i> — соотнесение объекта с некоторым классом объектов и/или обнаружение неисправностей в системе	ЭС диагностики неисправностей, дефектов технического оборудования ЭС финансово-хозяйственного состояния предприятия ЭС диагностики ошибок в аппаратуре и математическом обеспечении ЭВМ
<i>Мониторинга</i> — непрерывная интерпретация данных в реальном масштабе времени и сигнализация о выходе тех или иных параметров за допустимые пределы	ЭС предупреждения опасных ситуаций на производственном участке ЭС экологического мониторинга ЭС мониторинга состояния здоровья человека ЭС информационного мониторинга технологических процессов

1	2
<i>Проектирование</i> – создание ранее не существовавшего объекта и подготовка спецификаций на создание объектов с заранее определенными характеристиками	ЭС проектирования трубопроводов ЭС инвестиционного проектирования ЭС синтеза электрических цепей ЭС проектирования конфигураций ЭВМ
<i>Прогнозирование</i> – предсказание последствий некоторых событий или явлений на основе анализа имеющихся данных	ЭС прогноза в экономике ЭС прогноза состояния конструкции под влиянием внешних воздействий ЭС прогноза оценки будущего урожая
<i>Планирование</i> – построение планов действий субъектов (объектов), способных выполнять некоторые функции	ЭС планирования работ и ресурсов ЭС планирования маршрутов ЭС планирование поведения робота ЭС планирование эксперимента
<i>Обучение</i> – использование компьютера для обучения какой-либо дисциплине или предмету.	ЭС диагностики ошибок и подсказывания правильных решений; ЭС обучения языку программирования
<i>Управление</i> – функция организованной системы, поддерживающая определенный режим ее деятельности	ЭС помощи в управлении газовой котельной. ЭС управления системой календарного планирования
<i>Поддержка принятия решений</i> – совокупность процедур, обеспечивающая лицо, принимающее решения, рекомендациями, облегчающими процесс принятия решения	ЭС выбора стратегии выхода фирмы из кризисной ситуации. ЭС помощи в выборе инвестора ЭС для интеллектуальной поддержки оператора при управлении техническим объектом

Контрольные вопросы и задания

1. Какие программные модули входят в пакет *Fuzzy Logic*?
2. Какое предназначение редактора систем нечёткого вывода?
3. Какие установки можно выполнить в окне редактора функций принадлежности этом окне?
4. Каким образом задаются правила работы системы нечеткого вывода

5.Как осуществляется проверка адекватности нечеткой экспертной системы?

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И
ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ**

Искусственный интеллект в профессиональной сфере

Направление подготовки 39.03.01 Социология
Направленность (профиль) «Аналитика и консалтинг»
Форма обучения – Очная, заочная
Год начала обучения 2026 г.

Ставрополь, 2026

1. Контроль самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы проводится преподавателем в аудитории.

Предусмотрены следующие виды контроля: собеседование, подготовка к лабораторным работам.

Подробные критерии оценивания компетенций приведены в Фонде оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации.

2. Список литературы для выполнения СРС

Основная литература:

1. Пальмов, С.В. Интеллектуальные системы и технологии Электронный ресурс : учебное пособие / С.В. Пальмов. - Самара : Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2019. - 195 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
2. Сысоев, Д. В. Введение в теорию искусственного интеллекта : учебное пособие / Д. В. Сысоев, О. В. Курипта, Д. К. Проскурин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 170 с. — ISBN 978-5-4497-1092-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/108282.html>

Дополнительная литература:

1. Аверченков, В. И. Система формирования знаний в среде Интернет : Монография / Аверченков В. И. - Брянск : Брянский государственный технический университет, 2012. - 181 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 5-89838-328-X
2. Павлов, С. И. Системы искусственного интеллекта : учебное пособие : [16+] / С. И. Павлов. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – Часть 1. – 175 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208933>
3. Павлов, С. И. Системы искусственного интеллекта : учебное пособие / С. И. Павлов. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. – Часть 2. – 194 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208939>
4. Сергеев, Н. Е. Системы искусственного интеллекта : учебное пособие : [16+] / Н. Е. Сергеев. – Таганрог : Южный федеральный университет, 2016. – Часть 1. – 123 с. : схем., ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493307>
5. Сотник, С. Л. Проектирование систем искусственного интеллекта

: учебное пособие / С. Л. Сотник. — 3-е изд. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 228 с. — ISBN 978-5-4497-0868-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/102054.html>

Методическая литература:

1. Методические указания к самостоятельной работе (электронный вариант)

Интернет-ресурсы:

1. Воройский Ф. С. Информатика. Энциклопедический словарь-справочник: введение в современные информационные и телекоммуникационные технологии в терминах и фактах. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 768 с. — Доступно: <http://physics-for-students.ru/bookpc/informatika/slovar.zip>
2. Иванов В. Основы искусственного интеллекта — <https://libtime.ru/expertsystems/osnovy-iskusstvennogo-intellekta.html>
3. Романов П.С. Основы искусственного интеллекта; Учебно-метод. пособие. — <http://www.studfiles.ru/preview/2264160/>
4. Сайт Основы ИИ — <https://sites.google.com/site/osnovyiskusstvennogointellekta/>
5. Соболев Б.В. Информатика: учебник/ Б.В. Соболев [и др.] — Изд. 3-е, дополн. и перераб. — Ростов н/Д: Феникс, 2007. — 446 с. — Доступно: <http://physics-for-students.ru/bookpc/informatika/Sobol.rar>