

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНИКИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
для лабораторных работ по дисциплине  
«НЕЧЕТКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ»**

Для студентов специальности  
8.05020101 – «КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И  
АВТОМАТИКИ»

**Лабораторная работа № 2  
РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА «МНОГО ВХОДОВ – ОДИН  
ВЫХОД» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА МАМДАНИ И  
ИНТЕРАКТИВНОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ MATLAB**

Утверждено  
на заседании кафедры «Системотехники»  
Протокол № 8 от 16 ноября 2016 г.

Харьков 2017

**УДК 681.3.068**

**ББК 32.973.26-018.2**

**Н12**

**Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления.**  
Методические указания к лабораторным работам для студентов всех  
**Н12** форм обучения специальности 8.05020101 «Компьютеризированные  
системы управления и автоматики» [Электронное издание] / ХНУРЭ;  
Сост. А.И.Коваленко, В.М.Решетник — Харьков, 2017. – 58с.

**УДК 681.3.068**

**ББК 32.973.26-018.2**

**2017**

© Харьковский национальный университет радиоэлектроники,

© Коваленко А.И., Решетник В.М., 2017 .

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1 РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА «МНОГО ВХОДОВ – ОДИН ВЫХОД» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА МАМДАНИ.....</b>	<b>4</b>
1.1 Цели работы.....	4
1.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	4
1.3 Описание лабораторной установки.....	5
1.4 Порядок выполнения работы и методические указания по ее выполнению.....	5
1.4.1 Задание на работу.....	5
1.4.2 Модель нечеткого управления.....	7
1.4.3 Основные термины и определения нечеткой логики (FUZZY LOGIC).....	8
1.4.4 Основные этапы нечеткого вывода.....	9
1.4.5 Алгоритм нечеткого вывода Мамдани (Mamdani).....	11
1.4.6 Пример разработки нечеткого регулятора на основе алгоритма Мамдани.....	12
1.4.6.1 Функциональная схема устройства.....	12
1.4.6.2 Формирование базы правил системы нечеткого вывода.....	13
1.4.6.3 Разработка нечеткого регулятора в среде MATLAB.....	16
1.5 Содержание отчета.....	25
1.6 Контрольные вопросы и задания.....	25

# **1 РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА «МНОГО ВХОДОВ – ОДИН ВЫХОД» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА МАМДАНИ**

## **1.1 Цели работы**

1. Изучение модели нечеткого управления.
2. Изучение основных этапов нечеткого вывода.
3. Изучение основ построения систем нечеткого вывода с использованием алгоритма Мамдани (Mamdani).
4. Ознакомление с функциональными возможностями пакета прикладных программ FUZZY LOGIC TOOLBOX, входящих в состав интерактивной среды программирования MATLAB.
5. Практическая разработка нечеткого регулятора на основе алгоритма Мамдани и использованием пакета прикладных программ FUZZY LOGIC TOOLBOX среды MATLAB.
6. Получить практические навыки разработки нечетких регуляторов для систем автоматического управления.

## **1.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов**

Во время подготовки к выполнению лабораторной работы необходимо:

- изучить модель нечеткого управления;
- изучить основные этапы нечеткого вывода;
- изучить основы построения систем нечеткого вывода с использованием алгоритма Мамдани (Mamdani);
- изучить функциональные возможности пакета прикладных программ FUZZY LOGIC TOOLBOX среды MATLAB;
- изучить порядок (этапы) практической разработки нечеткого регулятора на основе алгоритма Мамдани.

### 1.3 Описание лабораторной установки

В качестве лабораторной установки используется персональный компьютер типа IBM PC. Выполнение заданий лабораторной работы осуществляется с помощью пакета прикладных программ FUZZY LOGIC TOOLBOX, входящих в состав интерактивной среды программирования MATLAB.

### 1.4 Порядок выполнения работы и методические указания по ее выполнению

#### 1.4.1 Задание на работу

В процессе выполнения лабораторной работы необходимо разработать нечеткий регулятор «много входов – один выход» с использованием пакета прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox среды MATLAB. Варианты заданий представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

№	Назначение устройства	Входные параметры	Объект управления
1.	Система, управляющая орошением растений в теплице.	1. Время суток (утро, день, вечер, ночь) 2. Влажность почвы. 3. Температура в помещении. 4. Содержание азота в почве.	1. Впускной клапан системы автоматического орошения растений. 2. Впускной клапан системы автоматического добавления удобрений в систему орошения. 3. Реле освещения. 4. Реле нагревателей (тепов), для отопления помещения.
2.	Система управления беговой дорожкой (кардио-тренажером).	1. Пульс 2. Вес 3. Рост 4. Текущая скорость вращения вала двигателя (движения дорожки).	1. Скорость вращения вала двигателя. 2. Угол наклона дорожки в горизонтальной плоскости.

<b>№</b>	<b>Назначение устройства</b>	<b>Входные параметры</b>	<b>Объект управления</b>
<b>3.</b>	Бортовая система автомобиля, управляющая парковкой.	1. Расстояние до препятствия . 2. Скорость заднего хода автомобиля. 3. Ускорение автомобиля (торможение, нулевое, ускорение). 3. Угол отклонения от заданного направления движения.	1. Дисковый колесный тормозной механизм. 2. Акселератор (регулятор количества горючей смеси, поступающей в цилиндры двигателя). 3. Угол отклонения рулевой колонки.
<b>4.</b>	Система управления кондиционером	1. Давление компрессора (высокое давление – горячий воздух, низкое давление – холодный воздух). 2. Скорость вращения вентиляторов. 3. Температура в помещении.	1. Давление. 2. Скорость вентиляторов (скорость теплообмена). 3. Влажность выпускаемого воздуха.
<b>5.</b>	Система управления увлажнителем воздуха	1. Влажность в помещении. 2. Температура в помещении. 3. Скорость вращения вентилятора. 4. Интенсивность работы высокочастотного пьезодинамика (механического вибратора).	1. Скорость вентиляторов. 2. Интенсивность работы высокочастотного пьезодинамика.
<b>6.</b>	Система управления смесителем душа	1. Температура воды на выходе смесителя. 2. Значение напора воды. 4. Величина поворота вентиля горячей (холодной) воды.	1. Вентиль горячей воды. 2. Вентиль холодной воды.

№	Назначение устройства	Входные параметры	Объект управления
7.	Автоматический информатор пассажиров в поезде метрополитена.	1. Расстояние до установки. 2. Текущая скорость поезда. 3. Ускорение поезда (торможение, нулевое, ускорение). 4. Длительность объявления.	1. Время начала объявления остановки. 2. Время прибытия на остановку.
8.	Система управления стиральной машиной в режиме «ручная стирка»	1. Вид ткани. 2. Температура.	1. Скорость вращения вала двигателя. 2. Длительность стирки.
9.	Система управления холодильником.	1. Температура в рабочей камере. 2. Температура в морозильной камере. 3. Давление компрессора (высокое давление – повышение температуры, низкое давление – понижение температуры).	1. Давление компрессора рабочей камеры. 2. Давление компрессора морозильной камеры.
10.	Автоматический информатор клиентов о размере одежды.	1. Вес 2. Рост.	1. Размер одежды. 2. Дополнительная информация – «вес в норме», «вес не в норме».

### 1.4.2 Модель нечеткого управления

Базовая архитектура или модель классической теории управления основывается на представлении объекта и процесса управления в форме системы (рис. 1.1). На рис.1.1: « $W_{Oy}(p)$ » – передаточная функция объекта управления; « $W_p(p)$ » – передаточная функция регулятора; « $x$ » – задающее воздействие; « $e$ » – ошибка регулирования; « $u$ » – управляющее воздействие; « $y$ » – выходная регулируемая величина.

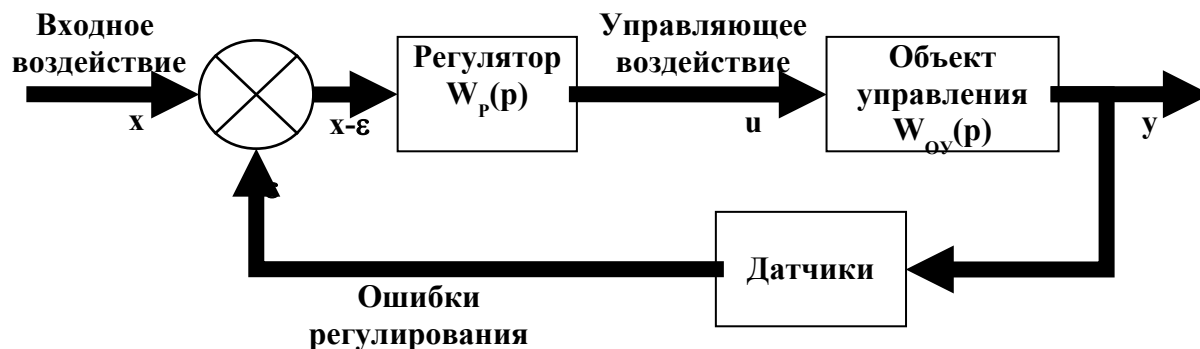


Рисунок 1.1 –Структурная схема системы автоматического управления

При этом объект управления характеризуется некоторым конечным множеством входных параметров и конечным множеством выходных параметров. На вход системы управления поступают входные переменные, которые формируются с помощью конечного множества датчиков. На выходе системы управления с использованием алгоритма управления формируется множество значений выходных (управляющих) переменных. Их также называют переменными процесса управления. Значения этих выходных переменных поступают на вход объекта управления и, комбинируясь со значениями входных параметров, изменяют его поведение в желаемом направлении.

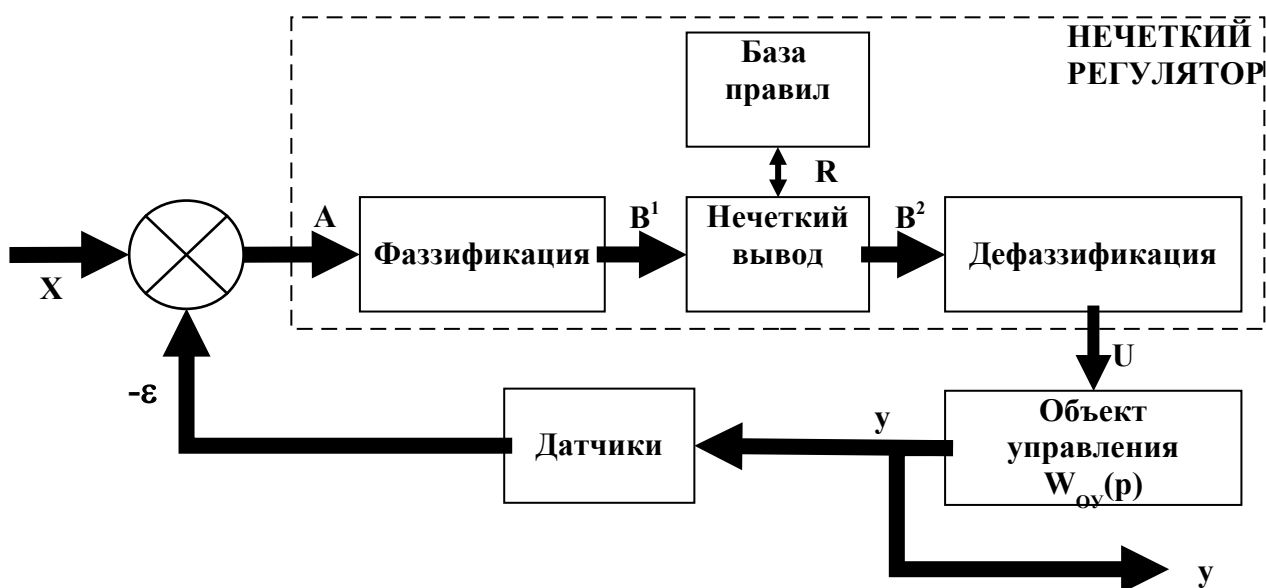


Рисунок 1.2 –Схема САУ с нечетким регулятором

Архитектура или модель нечеткого управления основана на замене классической системы управления системой нечеткого управления, в качестве



которой используются системы нечеткого вывода. В этом случае модель нечеткого управления (рис. 1.2) строится с учетом необходимости реализации всех этапов нечеткого вывода. Сам процесс вывода реализуется на основе алгоритмов нечеткого вывода, один из которых алгоритм Мамдани.

### 1.4.3 Основные термины и определения нечеткой логики (FUZZY LOGIC)

**Нечетким множеством** (Fuzzy Set)  $A$  на универсальном множестве  $X$  называется совокупность пар или кортежей  $(\mu_A(x), x)$ , где  $\mu_A(x)$  – степень принадлежности элемента  $x \in X$  к нечеткому множеству  $A$ .

**Функцией принадлежности** (Membership Function) называется функция  $\mu_A(x)$ , которая позволяет вычислить степень принадлежности (из диапазона  $[0,1]$ ) произвольного элемента универсального множества  $x$  нечеткому множеству  $A$ .

**Нечеткая переменная** определяется как кортеж:

$$(\alpha, X, A),$$

где  $\alpha$  – наименование нечеткой переменной (терм);

$X$  – область ее определения (универсум);

$A = (x, \mu_A(x))$  – нечеткое множество на  $X$ , описывающее возможные значения  $x$ , которые может принимать нечеткая переменная  $\alpha$ .

**Областью значений нечеткой переменной** является множество всех числовых значений  $x$ , которые может принимать определенный параметр изучаемой системы, либо множество значений, существенных с точки зрения решаемой задачи (модели системы) – в общем случае нечеткое множество  $A$  на универсуме  $X$ .

Таким образом, говоря о нечеткой переменной, имеется в виду некоторое нечеткое множество  $A$ , которое определяет ее возможные значения.

**Лингвистическая переменная** определяется как кортеж:

$$\beta = \{\beta, T(\alpha), X, G(T), M(A)\},$$

где:

-  $\beta$  – наименование или название лингвистической переменной;

-  $T(\alpha)$  – базовое терм-множество лингвистической переменной  $\beta$  или множество ее значений (термов), каждое из которых представляет собой наименование отдельной нечеткой переменной  $\alpha$ .

- $X$  – область определения (универсум) всех нечетких переменных  $\alpha$ , которые входят в определение лингвистической переменной  $\beta$ ;
- $G(T)$  – синтаксические правила (часто в виде грамматики), для создания новых термов (наименований  $\alpha$ );
- $M(A)$  – семантические правила, задающие функции принадлежности  $\mu_\alpha(x)$  нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами из  $G(T)$ ;

#### 1.4.4 Основные этапы нечеткого вывода

Информацией, которая поступает на вход системы нечеткого вывода, являются измеренные некоторым образом входные переменные. Эти переменные соответствуют реальным переменным процесса управления. Информация, которая формируется на выходе системы нечеткого вывода, соответствует выходным переменным, которыми являются управляющие переменные процесса управления.

Системы нечеткого вывода предназначены для преобразования значений входных переменных процесса управления в выходные переменные на основе использования нечетких правил продукций. Для этого они должны содержать базу правил нечетких продукций и реализовывать нечеткий вывод заключений на основе посылок или условий, представленных в форме нечетких лингвистических высказываний.

Основными этапами нечеткого вывода являются (рис. 1.3):

**1. Формирование базы правил систем нечеткого вывода.** База правил систем нечеткого вывода предназначена для формального представления эмпирических знаний или знаний экспертов в той или иной проблемной области. База правил нечетких продукций представляет собой конечное множество правил нечетких продукций, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных.

**2. Фаззификация входных переменных.** Целью этапа фаззификации является установление соответствия между конкретным (численным) значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности  $\mu(x)$  соответствующего ей терма  $\alpha$  входной лингвистической переменной. После завершения этого этапа для всех входных переменных должны быть определены конкретные значения функций

принадлежности  $\mu(x)$  по каждому из лингвистических термов  $\alpha$ , которые используются в подусловиях базы правил системы нечеткого вывода.



Рисунок 1.3 – Основные этапы нечеткого вывода

**3. Агрегирование промежуточных условий** в нечетких правилах продукций. Агрегирование представляет собой процедуру определения степени истинности каждого из *условий (подусловий) правил* системы нечеткого вывода.

**4. Активизация или композиция подзаключений** в нечетких правилах продукций. Активизация представляет собой процедуру определения степени истинности каждого *заключения (подзаключений) из правил* системы нечеткого вывода.

**5. Аккумулятивное заключение нечетких правил продукций.** Цель аккумуляции заключается в том, чтобы объединить (аккумулятировать) все степени истинности заключений (подзаключений) для получения функции принадлежности каждой из выходных переменных. Причина необходимости выполнения этого этапа состоит в том, что подзаключения, относящиеся к одной и той же выходной лингвистической переменной, принадлежат различным правилам системы нечеткого вывода.

**6. Дефазификация аккумулятивных заключений** с целью получения количественных значений каждой из выходных переменных. Цель дефазификации заключается в том, чтобы, используя результаты аккумуляции

всех выходных лингвистических переменных, получить обычное количественное значение (crisp value) каждой из выходных переменных, которое может быть использовано специальными устройствами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода. Поэтому дефаззификацию называют также приведением к четкости.

#### **1.4.5 Алгоритм нечеткого вывода Мамдани (Mamdani)**

Алгоритм Мамдани является одним из первых, который нашел применение в системах нечеткого вывода. Он был предложен в 1975 г. английским математиком Е. Мамдани (Ebrahim Mamdani) в качестве метода для управления паровым двигателем. По своей сути этот алгоритм включает, рассмотренные в пп.1.4.3 этапы нечеткого вывода, поскольку в наибольшей степени соответствует их параметрам.

Формально алгоритм Мамдани может быть определен следующим образом.

- формирование базы правил систем нечеткого вывода;
- фаззификация входных переменных;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Для нахождения степени истинности условий каждого из правил нечетких продукций используются парные нечеткие логические операции. Те правила, степень истинности условий которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчетов;
- активизация подзаключений в нечетких правилах продукций. При этом для сокращения времени вывода учитываются только активные правила нечетких продукций.
- аккумуляция заключений нечетких правил продукций. Осуществляется для объединения нечетких множеств, соответствующих термам подзаключений, относящихся к одним и тем же выходным лингвистическим переменным.
- дефаззификация аккумулярованных заключений с целью получения количественных значений каждой из выходных переменных с использованием метода нахождения «центра тяжести».

### 1.4.6 Пример разработки нечеткого регулятора на основе алгоритма Мамдани

Рассмотрим пример разработки нечеткого регулятора на основе алгоритма Мамдани с использованием пакета прикладных программ FUZZY LOGIC TOOLBOX, входящих в состав интерактивной среды программирования MATLAB.

**Задание:** разработать нечеткий регулятор «много входов – один выход» для устройства, которое по измеренному росту и весу человека выводит на цифровое табло рекомендуемый вес для атлетических тренировок в тренажерном зале.

#### 1.4.6.1 Функциональная схема устройства

Создадим функциональную схему устройства (рис.1.4).

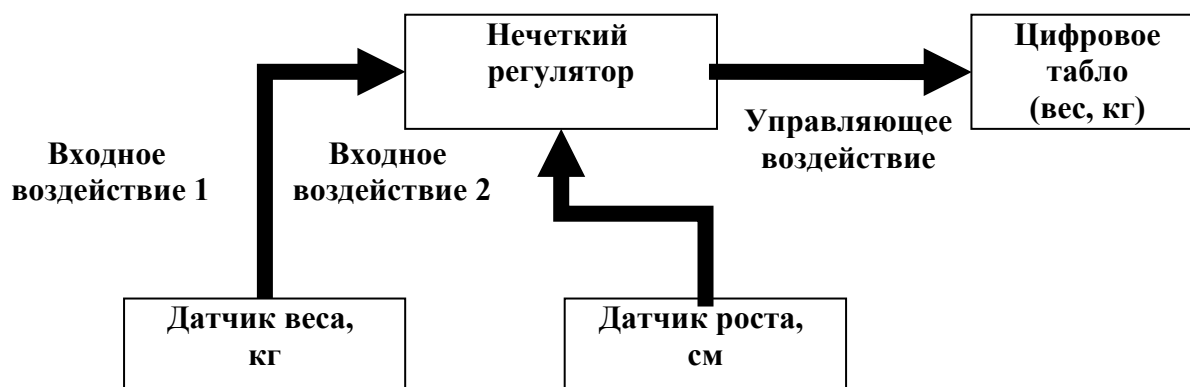


Рисунок 1.4 – Функциональная схема устройства

На вход нечеткого регулятора поступают данные от 2-х датчиков. Первый датчик выдает измеренный вес человека, а второй – рост. Нечеткий регулятор на основе данных входных воздействий должен выработать управляющее воздействие – рекомендуемый вес для атлетических тренировок в тренажерном зале. Рекомендуемый вес отображается на цифровом табло.

#### 1.4.6.2 Формирование базы правил системы нечеткого вывода

Создадим систему нечеткого вывода для рассматриваемого устройства (рис.1.4). Для этого определим 2-ве входных лингвистических переменных и 1-ну выходную.

##### Определение входной лингвистической переменной «Рост человека»

Рассмотрим нечеткие множества  $H_1, H_2, H_3$  на универсуме  $X$ , характеризующие «рост человека». Нечеткие переменные  $x_1 \in H_1$ ,  $x_2 \in H_2$ ,  $x_3 \in H_3$  могут быть представлены в виде кортежей:

$$\begin{aligned} & (x_1, X, H_1), (x_2, X, H_2), (x_3, X, H_3), \\ & (\text{Рост низкий}, \{x_1 \mid 100 \text{ см} < x < 140 \text{ см}\}, H_1), \\ & (\text{Рост средний}, \{x_2 \mid 110 \text{ см} < x < 190 \text{ см}\}, H_2) \\ & (\text{Рост высокий}, \{x_3 \mid 180 \text{ см} < x < 250 \text{ см}\}, H_3) \end{aligned}$$

Значение нечеткой переменной принимает лингвистическая переменная. Определим лингвистическую переменную

$$\beta_1 = \{ \text{"рост человека"}, T(x), X, G(T), M(H) \},$$

где:

$T(x) = \{x_1, x_2, x_3\} = \{ \text{"рост низкий"}, \text{"рост средний"}, \text{"рост высокий"} \}$  – термножество лингвистической переменной  $\beta_1$ ;

$X = [100, 250] \text{ см}$  – универсум, на котором определены нечеткие множества  $H_1, H_2, H_3$ ;

$G(T)$  – процедура образования новых термов с помощью: связок «и»/«или», а также модификаторов типа «очень», «не», «слегка» и т.д.

$M(H)$  – процедура задания на  $X = [100, 250]$  нечетких термов переменных:

$$x_1 = \text{"низкий"}, x_2 = \text{"средний"}, x_3 = \text{"высокий"}.$$

##### Определение входной лингвистической переменной «Вес человека»

Рассмотрим нечеткие множества  $W_1, W_2, W_3$  на универсуме  $Z$ , характеризующие «вес человека». Нечеткие переменные  $z_1 \in W_1$ ,  $z_2 \in W_2$ ,  $z_3 \in W_3$  могут быть представлены в виде кортежей:

$$(z_1, Z, W_1), (z_2, Z, W_2), (z_3, Z, W_3),$$

(Вес небольшой,  $\{z_1 \mid 50 \text{ кг} < z < 70 \text{ кг}\}, W_1$ ),

(Вес средний,  $\{z_2 \mid 60 \text{ кг} < z < 120 \text{ кг}\}, W_2$ )

(Вес большой,  $\{z_3 \mid 105 \text{ кг} < z < 150 \text{ кг}\}, W_3$ )

Значение нечеткой переменной принимает лингвистическая переменная.  
Определим лингвистическую переменную

$$\beta_2 = \{\text{"вес человека"}, T(z), Z, G(T), M(W)\},$$

где:

$$T(z) = \{z_1, z_2, z_3\} = \{\text{"вес небольшой"}, \text{"вес средний"}, \text{"вес большой"}\}$$

– терм-множество лингвистической переменной  $\beta_2$ ;

$Z = [100, 250]$  кг – универсум, на котором определены нечеткие множества  $W_1, W_2, W_3$ ;

$G(T)$  – процедура образования новых термов;

$M(W)$  – процедура задания на  $Z = [50, 150]$  нечетких термов переменных:

$$z_1 = \text{"небольшой"}, z_2 = \text{"средний"}, z_3 = \text{"большой"}.$$

**Определение выходной лингвистической переменной «Вес для тренировок»**

Рассмотрим нечеткие множества  $R_1, R_2, R_3$  на универсуме  $S$ , характеризующие «вес для тренировок». Нечеткие переменные  $s_1 \in R_1, s_2 \in R_2, s_3 \in R_3$  могут быть представлены в виде кортежей:

$$(s_1, S, R_1), (s_2, S, R_2), (s_3, S, R_3),$$

$$(\text{Вес небольшой}, \{s_1 \mid 50 \text{ кг} < z < 65 \text{ кг}\}, R_1),$$

$$(\text{Вес средний}, \{s_2 \mid 55 \text{ кг} < z < 90 \text{ кг}\}, R_2)$$

$$(\text{Вес большой}, \{s_3 \mid 80 \text{ кг} < z < 140 \text{ кг}\}, R_3)$$

Значение нечеткой переменной принимает лингвистическая переменная.  
Определим лингвистическую переменную

$$\beta_3 = \{\text{"вес для тренировок"}, T(s), S, G(T), M(R)\},$$

где:

$$T(s) = \{s_1, s_2, s_3\} = \{\text{"вес небольшой"}, \text{"вес средний"}, \text{"вес большой"}\}$$

– терм-множество лингвистической переменной  $\beta_3$ ;

$S = [50, 140]$  кг – универсум, на котором определены нечеткие множества  $R_1, R_2, R_3$ ;

$G(T)$  – процедура образования новых термов;

$M(R)$  – процедура задания на  $S = [50, 140]$  нечетких термов переменных:  
 $s_1 = \text{"небольшой"}$ ,  $s_2 = \text{"средний"}$ ,  $s_3 = \text{"большой"}$ .

### Определение правил нечеткого вывода

База правил систем нечеткого вывода предназначена для формального представления эмпирических знаний или знаний экспертов в той или иной проблемной области. База правил нечетких продукций представляет собой конечное множество правил нечетких продукций, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных.

Рассмотрим синтаксис представления правил нечетких продукций, когда нечеткими логическими операциями *соединены нечеткие высказывания*, относящиеся к трем лингвистическим переменным в форме:

**ЕСЛИ (IF) « $\beta_1$  есть  $x$ » ОП « $\beta_2$  есть  $z$ » ТО (THEN) « $\beta_3$  есть  $s$ »**

где:

- «ЕСЛИ» («IF») – операнд задания утверждения;
- «ОП» – одна из бинарных операций: нечеткой конъюнкции «И» («AND») или нечеткой дизъюнкции «ИЛИ» («OR»);
- « $\beta_1$ », « $\beta_2$ » – входные лингвистические переменные;
- « $\beta_3$ » – выходная лингвистическая переменная;
- «ТО, ТОГДА» («THEN») – операнд вывода заключения из утверждения.

Алгоритм Мамадани предполагает, что в качестве оператора «ОП» используется операция «AND». Вариант правил нечетких продукций для создаваемого нечеткого регулятора может быть представлен в виде таблицы (табл.1.1).

Таблица 1.1 – Правила нечеткого вывода

№Правило	Утверждение					Заключение (вес для тренировок)
	Условие	Предположение 1	Оператор	Предположение 2	Оператор	
1.	IF	Рост низкий	AND	Вес маленький	THEN	Вес маленький
2.	IF	Рост средний	AND	Вес средний	THEN	Вес средний
3.	IF	Рост высокий	AND	Вес большой	THEN	Вес большой



№Правило	Утверждение					Заключение (вес для тренировок)
	Условие	Предположение 1	Оператор	Предположение 2	Оператор	
4.	IF	Рост низкий	AND	Вес средний	THEN	Вес маленький
5.	IF	Рост низкий	AND	Вес большой	THEN	Вес маленький
6.	IF	Рост средний	AND	Вес маленький	THEN	Вес маленький
7.	IF	Рост средний	AND	Вес большой	THEN	Вес средний
8.	IF	Рост высокий	AND	Вес маленький	THEN	Вес маленький
9.	IF	Рост высокий	AND	Вес средний	THEN	Вес средний

### 1.4.6.3 Разработка нечеткого регулятора в среде MATLAB

Перед тем, как начать работу с MATLAB необходимо подготовить данные для этапа фаззификации. Целью этапа фаззификации является установление соответствия между конкретным (численным) значением отдельной нечеткой переменной системы нечеткого вывода и значением ее функции принадлежности (ФП). Значения входных и выходных нечетких переменных, а также выбранные типы функций принадлежности с соответствующими параметрами, представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Значения входных и выходных нечетких переменных

Лингвистическая переменная	Диапазон	Нечеткая переменная	Диапазон значений	Тип ФП	Параметры ФП
$\beta_1$ (рост человека)	[100, 250]	$x_1$	[100, 140]	Trapmf()	[90 100 120 140]
		$x_2$	[110, 190]	Trapmf()	[110 150 175 190]
		$x_3$	[180, 250]	Trapmf()	[180 194 250 270]
$\beta_2$ (вес человека)	[50, 150]	$z_1$	[50, 70]	Trapmf()	[45 50 60 70]
		$z_2$	[60, 120]	Trapmf()	[60 80 100 120]
		$z_3$	[105, 150]	Trapmf()	[105 120 150 190]
$\beta_3$ (вес для тренировок)	[50, 140]	$s_1$	[50, 65]	Trimf()	[14 50 65]
		$s_2$	[55, 90]	Trapmf()	[55 65 80 90]
		$s_3$	[80, 140]	Trapmf()	[80 90 140 170]

Для построения ФП с использованием пакета прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox необходимо ввести в окне «Command Window» среды MATLAB команду «fuzzy». Команда «fuzzy» запускает основную интерфейсную программу пакета Fuzzy Logic – редактор нечеткой системы вывода (Fuzzy Inference System Editor – FIS Editor). В появившемся окне редактора «FIS Editor Untitled» (untitled – имя файла) необходимо зайти и выполнить пункт главного меню «File» / «New FIS...» / «Mamdani» (рис. 1.5). Таким образом, задается используемый по умолчанию тип алгоритма нечеткого вывода.

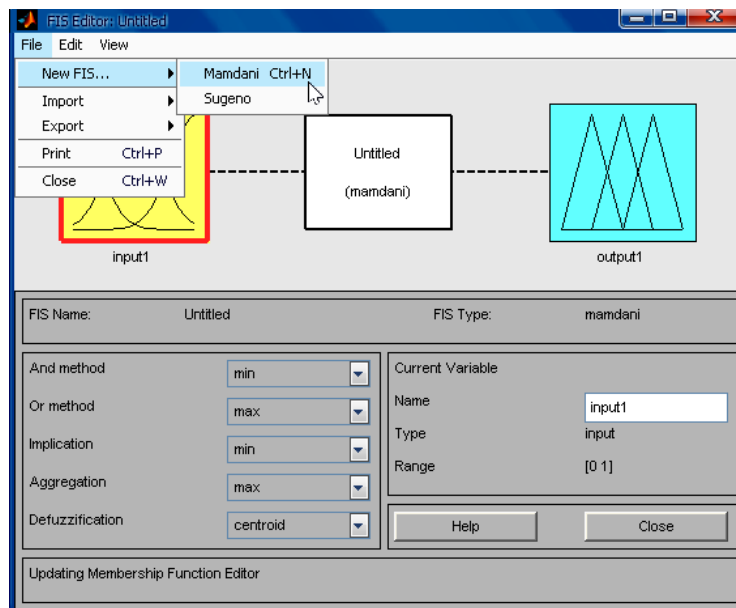


Рисунок 1.5 – Окно редактора нечеткой системы вывода

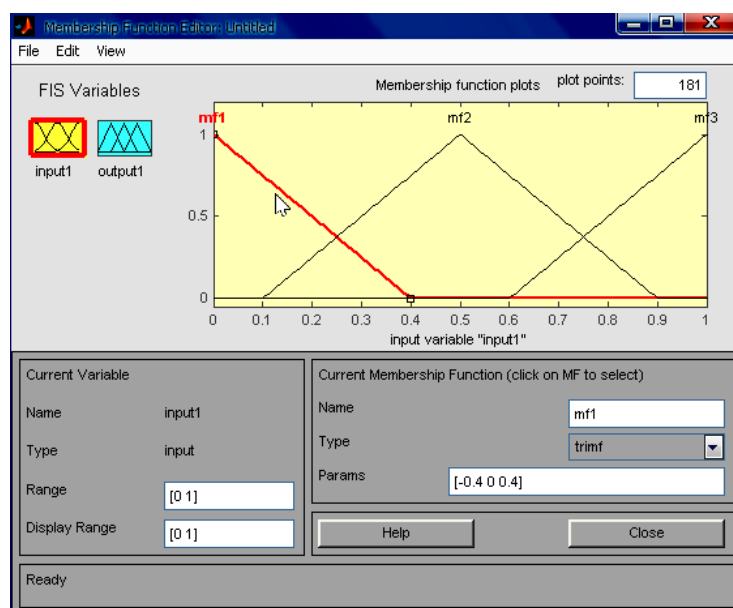


Рисунок 1.6 – Окно редактора функций принадлежности

Для создания системы нечеткого вывода необходимо:

1. Двойным щелчком мыши по окну «input» вызвать диалоговое окно редактора функций принадлежности «Membership Function Editor» (рис. 1.6). По умолчанию установлена одна входная переменная с именем «input1», которая выделена красным кантом слева от рисунка. Для входной переменной «input1» установлены 3-ри функции принадлежности типа «trimf» с именами «mf1», «mf2», «mf3». Следует последовательно, щелкая по каждой функции принадлежности и нажимая клавишу «Delete», удалить их (рис.1.7).

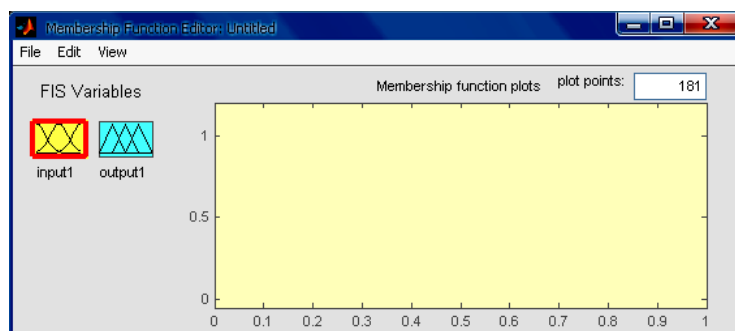
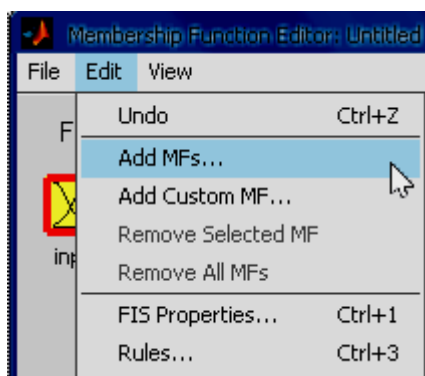


Рисунок 1.7 – Окно редактора с удаленными функциями принадлежности

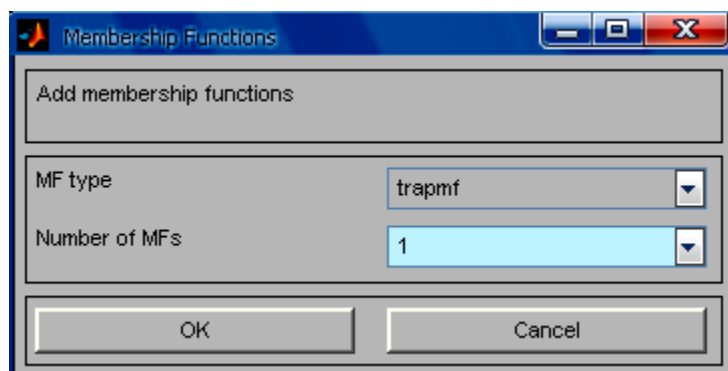
2. Ввести данные базы правил для первой входной лингвистической переменной (табл. 1.2).

Для этого нужно выполнить пункт главного меню редактора функций принадлежности «Edit»/«Add MFs...» (рис.1.8, а).

В диалоговом окне добавления функции принадлежности «Membership Function» (рис.1.8, б) используя выпадающий список «MF type» и тип функции – «trapmf», а в выпадающем списке «Number of MFs» – ее порядковый номер, добавить в редактор 3-ри функции принадлежности.



а) меню Edit



б) окно «Membership Function»

Рисунок 1.8 – Добавление функций принадлежности

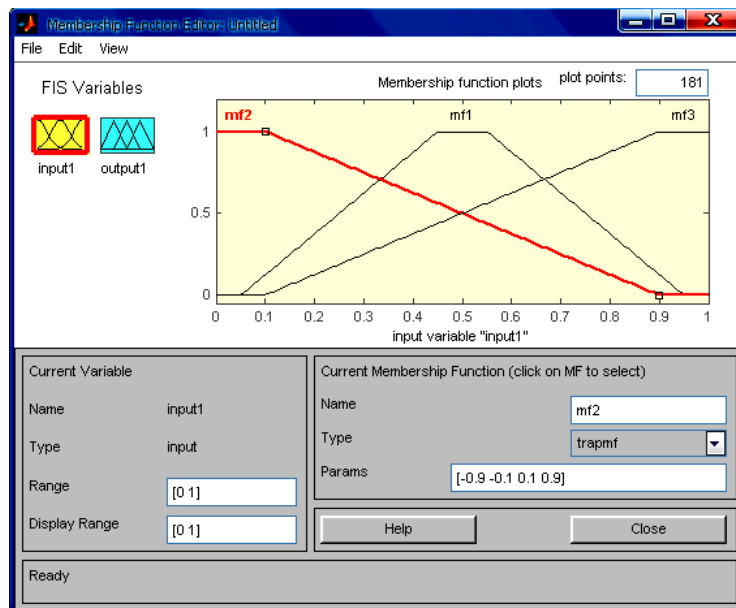


Рисунок 1.9 – Вид редактора с 3-мя функциями принадлежности

Щелкая по функциям «mf1», «mf2», «mf3» ввести данные табл. 1.2 для первой лингвистической переменной (рис. 1.9, 1.10).

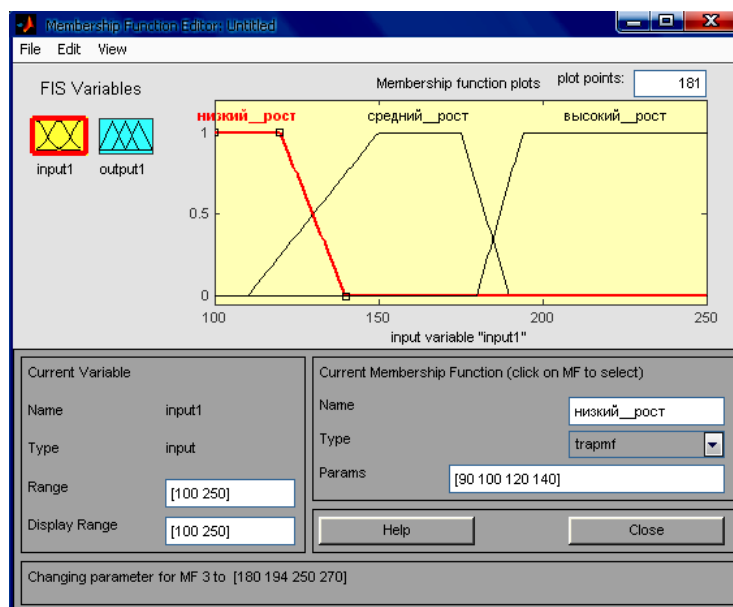


Рисунок 1.10 – Вид редактора с отредактированными ФП

Приведем пример ввода данных. Для функции «mf1» в разделе «Current Variable» (рис.1.10):

- в поле Range – [100 250];
- в поле Display Range – [100 250] (изменяется автоматически).

Для функции «mf1» в окне «Current Membership Function» (рис.1.10):

- в поле «Name» – имя «низкий\_рост»;
- в поле «Params» – [90 100 120 140].

Вид редактора с 3-мя отредактированными функциями принадлежности показан на рис. 1.10.

Для дальнейшей работы окно редактора ФП необходимо закрыть (нажав кнопку «Close») и перейти к работе с редактором FIS. В поле «Name» окна «Current Variable» ввести имя первой переменной – «h\_рост».

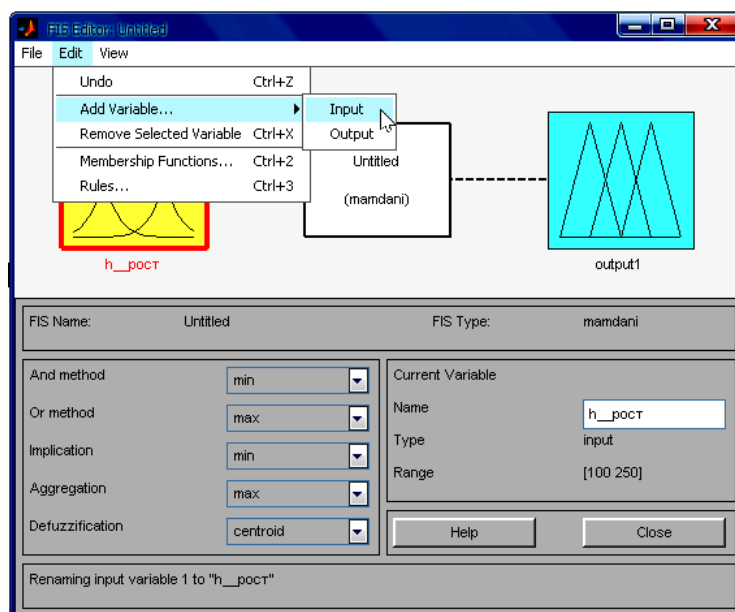


Рисунок 1.11 – Добавление входной переменной

3. Ввести данные базы правил для второй входной лингвистической переменной (табл. 1.2).

Для создания новой переменной необходимо выполнить пункт главного меню «Edit»/«Add Variable...» (рис. 1.11) и выбрать тип «Input» (входная).

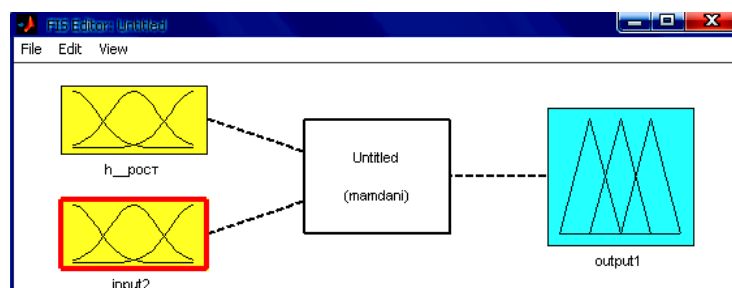


Рисунок 1.12 – Вид добавленной входной переменной «input2»

Далее следует присвоить имя «w\_вес» новой входной переменной и аналогично пп.2 настроить параметры функции принадлежности в соответствии с табл. 1.2 (рис. 1.13).

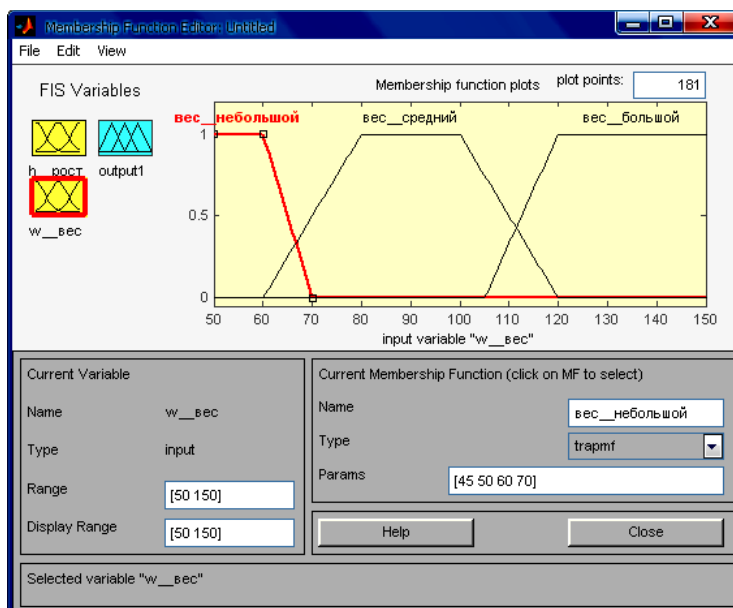


Рисунок 1.13 – Настройка ФП для входной переменной «w\_вес»

4. Ввести данные базы правил для выходной лингвистической переменной (табл. 1.2).

Присвоить имя «груз» выходной переменной и аналогично пп.2 настроить параметры функции принадлежности в соответствии с табл. 1.2 (рис. 1.13).

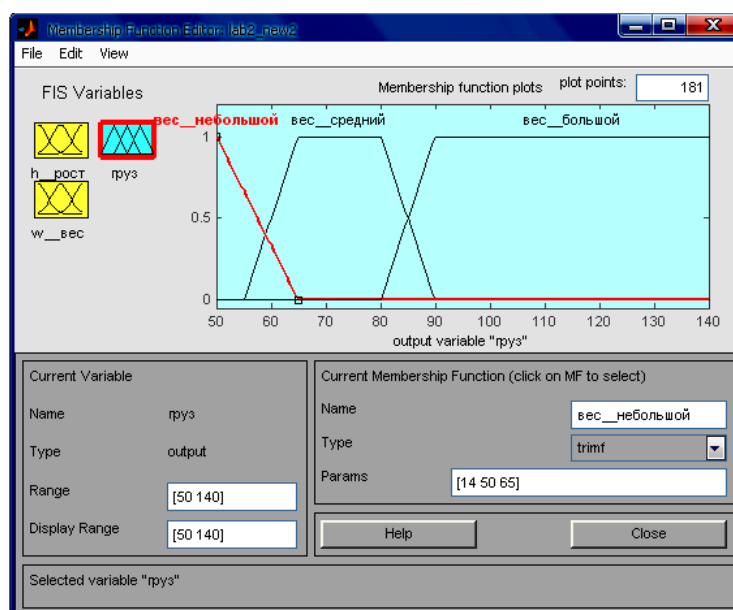


Рисунок 1.13 – Настройка ФП для выходной переменной «груз»

## 5. Настроить базу правил системы нечеткого вывода.

Для этого в окне редактора FIS (рис. 1.14) необходимо щелкнуть по белому квадрату для вызова диалогового окна редактора правил «Rule Editor».

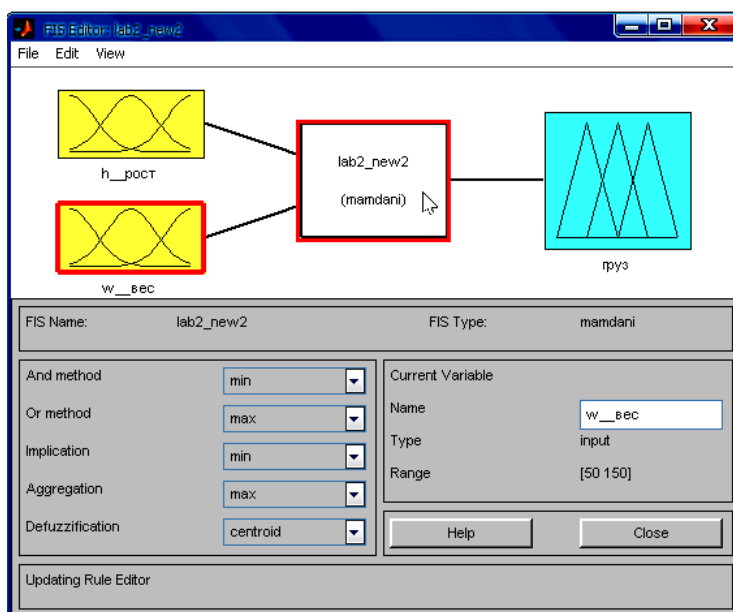


Рисунок 1.14 – Настройка базы правил системы нечеткого вывода

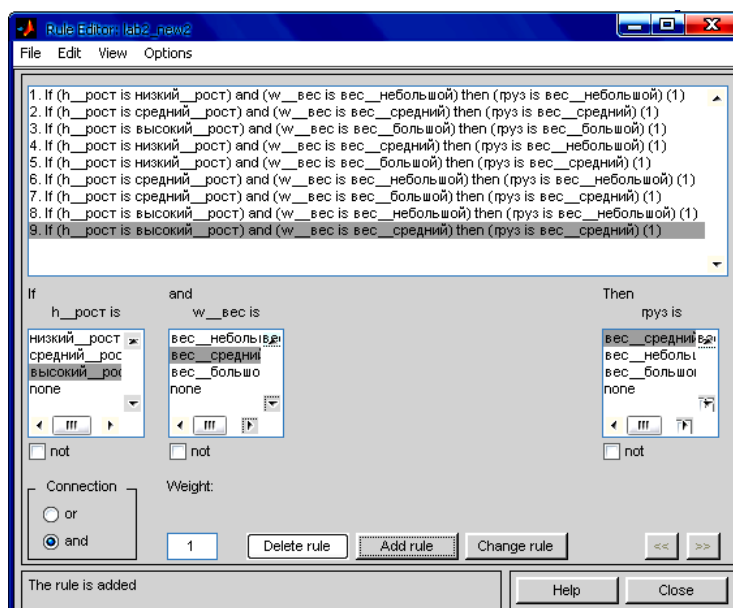


Рисунок 1.15 – Настройка базы правил системы нечеткого вывода

В окне редактора «Rule Editor» необходимо внести правила нечеткого вывода, определенные в табл. 1.1.

Для занесения правила необходимо

- выбрать предположения из окон слева (по умолчанию для алгоритма Мамдани используется логический оператор «AND»);

- выбрать заключение правила – в окне справа;
- нажать кнопку «Add rule» (добавить правило).

Для удаления правила или его изменения используются кнопки «Delete rule» и «Change rule» соответственно.

#### 6. Визуализация правил вывода нечеткого регулятора.

Для проверки созданной базы правил служит диалоговое окно «Rule Viewer». Данное окно вызывается командой главного меню «View»/«Rules» редактора FIS (рис. 1.16).

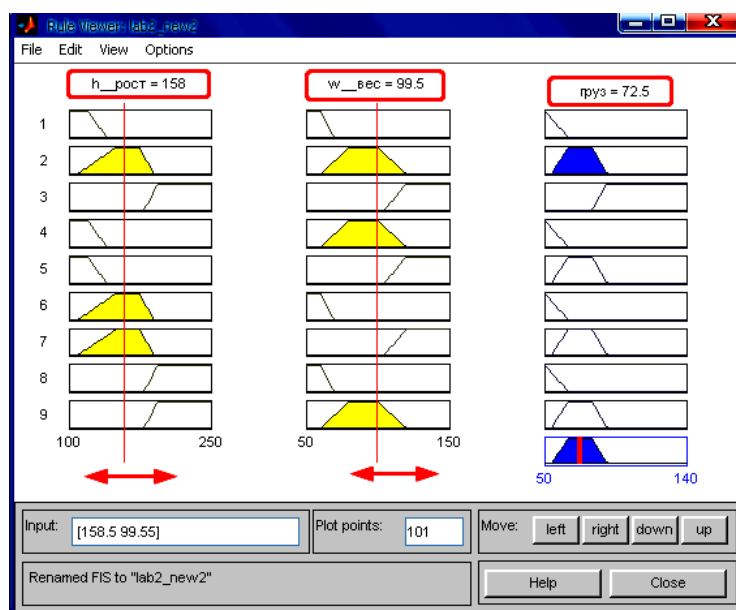


Рисунок 1.16 – Визуализация работы нечеткого регулятора

Визуализатор «Rule Viewer» позволяет проконтролировать работу разработанной базы правил для нечеткого регулятора. В окне «Rule Viewer» (рис.1.16) в виде пронумерованных графических изображений отображаются все правила, которые ввел пользователь. Входное воздействие для предположений отображается в виде красной вертикальной линии, проходящей через все функции принадлежности. Значение входной переменной отображается над верхним краем линии. Пользователь может проконтролировать дефазификацию выходного воздействия. Для этого нужно задать численные значения входных переменных, изменяя положение линии влево – вправо. Каждое изменение входных переменных приводит к перерасчету значения выходной переменной.



## 1.5 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- исходные данные и постановку задачи;
- функциональную схему устройства;
- определение входных лингвистических переменных;
- определение выходной лингвистической переменной;
- определение правил нечеткого вывода (по образцу табл. 1.1);
- значения входных и выходных нечетких переменных;
- скриншоты разработанной системы вывода нечеткого регулятора;
- выводы по работе.

## 1.6 Контрольные вопросы и задания

1. Что такое нечеткое множество, и каково его основное отличие от обычного (четкого) множества?
2. Дайте определение нечеткой переменной.
3. Дайте определение лингвистической переменной. Чем она отличается от нечеткой переменной?
4. Дайте определение функции принадлежности.
5. В чем идея нечеткого управления?
6. Чем отличаются модели классической теории управления и нечеткого управления?
7. Что понимается под нечеткой системой вывода?
8. Перечислите основные этапы нечеткого вывода.
9. Назначение, тип и параметры функции принадлежности `trapmf`.
10. Назначение, тип и параметры функции принадлежности `trimf`.
11. Какие минимаксные функции среды MATLAB используются для нахождения пересечения и объединения нечетких множеств.
12. Какие альтернативные алгебраические функции среды MATLAB используются для нахождения пересечения и объединения нечетких множеств.
13. Какой смысл вкладывается в термин «дефаззификация»?
14. Назовите цель дефаззификации.
15. Перечислите методы дефаззификации для систем типа Мамдани.
16. Что и как определяется по методу центра тяжести?

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**  
по дисциплине  
**«НЕЧЕТКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ»**  
для студентов всех форм обучения  
по специальности 8.05020101  
«Компьютеризированные системы управления и автоматики»

**Лабораторная работа № 2**

Составители:    КОВАЛЕНКО Андрей Иванович  
РЕШЕТНИК Виктор Михайлович

Ответственный выпускающий: Коваленко А.И.  
Редактор: Коваленко А.И.  
Компьютерная верстка: Коваленко А.И.

План 2017 (первое полугодие), поз. 9		
Подп. к печ. 30.01.2017.	Формат 60x84 1/16.	Способ печати –
ризография		
Усл. печ. лист. 9,5.	Учет. изд.лист. 8,4	Тираж 50 экз.
Цена договорная	Зам. №1-9	

---

ХНУРЭ. Украина. 61166, Харьков, просп. Науки, 14

Отпечатано в учебно-научном  
издательско-полиграфическом центре ХНУРЭ  
61166, Харьков, просп. Науки, 14