

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Л.В. БОРИСОВА, В.П. ДИМИТРОВ

ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

В МЕНЕДЖМЕНТЕ КАЧЕСТВА»

Ростов-на-Дону
2021

ВВЕДЕНИЕ

Практикум по дисциплине «Нечеткие модели и методы в менеджменте качества» предназначен для самостоятельной работы магистранта, выполняемой под руководством преподавателя.

Цель практикума – закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков представления нечетких знаний для формирования баз знаний интеллектуальных информационных системы.

Практические работы выполняются в соответствии с учебным планом направления подготовки и индивидуальным заданием, назначаемым преподавателем. Результаты работы оформляются в виде пояснительной записки (ПЗ), содержание которой должно соответствовать требованиям, изложенным в "Методических указаниях по оформлению текстовых и графических проектов" [1].

Современный этап развития информационных технологий характеризуется пониманием важности применения новых методов и технологических средств, повышающих уровень эффективности решения разнообразных задач. В первую очередь это относится к созданию интеллектуальных информационных систем, предназначенных для решения практических задач на уровне высококвалифицированного специалиста, что особенно важно для слабоструктурированных и плохоформализованных задач. Разработка и внедрение таких систем привело к переосмыслению многих важных аспектов, связанных с процессами принятия решений, удобством работы человека с компьютером, технологий обработки информации.

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКУМА

Пояснительная записка должна включать разделы:
Титульный лист.
ВВЕДЕНИЕ.
1 Методика дефаззификации.
2 Выбор в условиях неопределенности.

- 3 Расчёт показателей согласованности экспертных оценок.
 - 4 Автоматизированный расчёт показателей нечеткости.
 - 5 Моделирование нечетких знаний в среде MATLAB.
- Список литературы.

1. МЕТОДИКА ДЕФАССИФИКАЦИИ

Цель работы – ознакомление студентов с методикой получения численных значений выходных параметров при использовании нечётких моделей управления.

Для решения задачи необходимо выполнить ряд этапов.

Этап 1. Нахождение значений функций принадлежности (ФП) входных параметров. На данном этапе необходимо определить значения ФП для всех входных параметров в точках, соответствующих конкретным значениям данных параметров. Значения ФП входных параметров определяются из уравнений, описывающих функции принадлежности.

Этап 2. Перебор всех комбинаций входных параметров и нахождение по правилам значения выходного параметра. Значения выходных параметров определяются по правилам базы знаний, выступающей в роли основы для логического вывода. Затем для каждой комбинации определяется минимальное значение функций принадлежности входных переменных.

Этап 3. Сортировка всех комбинаций входных – выходных параметров. Для каждого из значений выходного параметра из всех минимумов значений ФП входных параметров выбирается максимальное. Полученные максимальные значения наносятся на график функции принадлежности выходной переменной.

Этап 4. Вычисление точного значения выходной переменной. Для этого использовать метод «центра тяжести», реализуемый в среде MatLab, с помощью пакета прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox. Для вычисления численного значения «вручную» возможно использование метода вычисления средневзвешенного значения по итоговому рисунку по формуле:

$$V_{cp} = \sum_{i=1}^n U_i \times \mu_A(U_i) / \sum \mu_A(U_i) \quad (1.1)$$

где $\mu_A(U_i)$ – максимальное значение функций принадлежности, соответствующее изменению выходного параметра U_i .

1.1 МОДЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР

Рассмотрим систему инвертированного маятника, управляемого нечётким контроллером. Задача состоит в том, чтобы сбалансировать шест на подвижной платформе, которая может перемещаться только влево или вправо. Балансировка осуществляется за счёт перемещения платформы в сторону отклонения шеста. Скорость перемещения платформы необходимо выбрать такой, чтобы привести маятник в состояние покоя (угол между платформой и шестом равен 90 градусов).

На выбор направления и скорости движения платформы существенно влияют два фактора: угол отклонения маятника от вертикали и угловая скорость маятника. Для движения маятника и платформы вправо примем значения скоростей и угла положительными, влево – отрицательными.

Для управления данной системой разработана база знаний, на которой основан логический вывод решения. Фрагмент базы знаний представлен ниже:

1. if (Угол is Ноль) and (Угловая скорость is Ноль) then (Скорость is Ноль)
2. if (Угол is Ноль) and (Угловая скорость is Положительная низкая) then (Скорость is Положительная низкая)
3. if (Угол is Ноль) and (Угловая скорость is Положительная высокая) then (Скорость is Положительная низкая)
4. if (Угол is Положительный малый) and (Угловая скорость is Положительная низкая) then (Скорость is Положительная низкая)
5. if (Угол is Положительный малый) and (Угловая скорость is Положительная высокая) then (Скорость is Положительная высокая)

В результате фаззификации исследуемых признаков построены функции принадлежности для входных и выходного па-

раметров (рис. 1.1 – 1.3). При этом для описания термов используются выражения из [1].

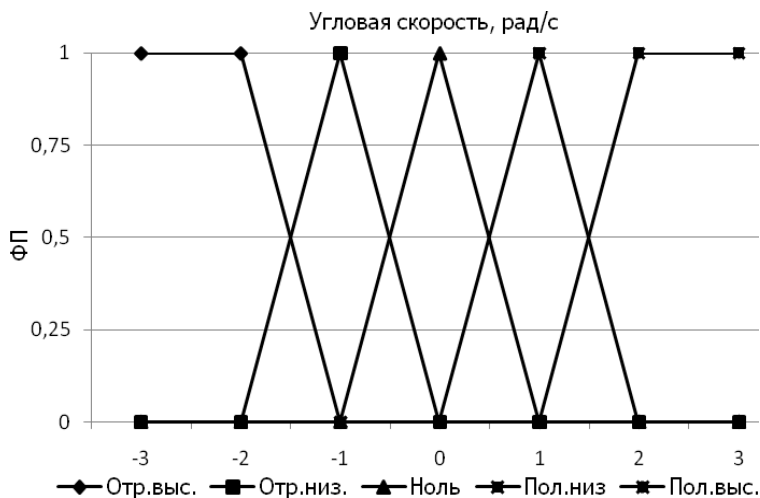


Рис. 1.1. ФП для параметра «Угловая скорость маятника»

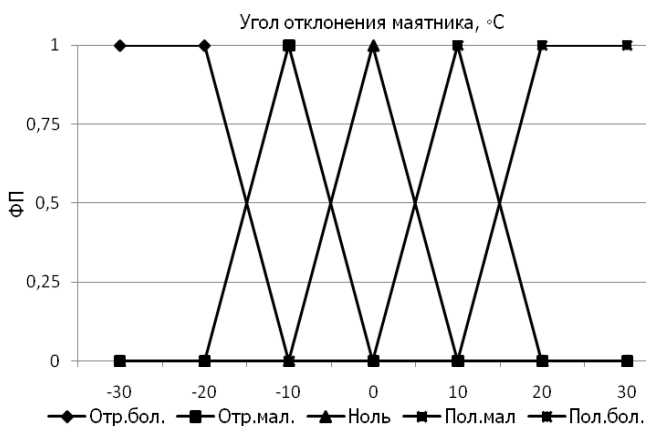


Рис. 1.2. ФП для параметра «Угол отклонения маятника от вертикали»

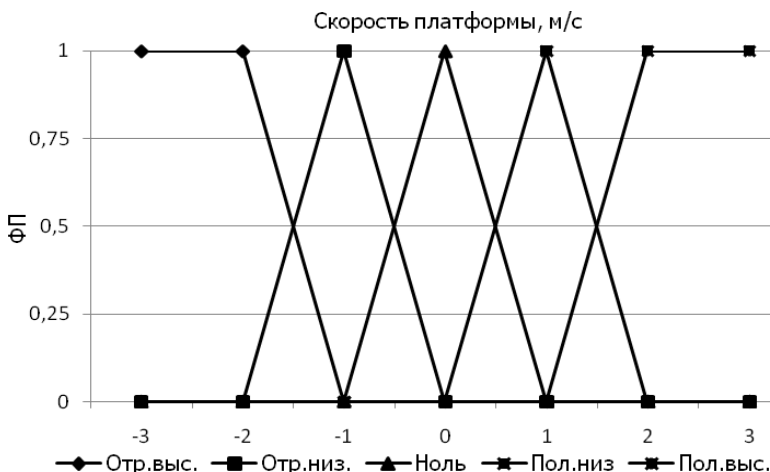


Рис. 1.3. ФП для выходного параметра «скорость платформы»

Каждая из представленных лингвистических переменных состоит из пяти термов.

Кортеж лингвистической переменной «Угловая скорость маятника» имеет вид:

<УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ, рад/с. {Отрицательная высокая, Отрицательная низкая, Ноль, Положительная низкая, Положительная высокая}, $[-3 - +3]$,> УС = {ОВ, ОН, Н, ПН, ПВ}.

Кортеж лингвистической переменной «Угол отклонения маятника от вертикали» имеет вид:

<УГОЛ ОТКЛОНЕНИЯ МАЯТНИКА ОТ ВЕРТИКАЛИ, °С. {Отрицательный большой, Отрицательный малый, Ноль, Положительный малый, Положительный большой}, $[-30 - +30]$,> УМ = {ОБ, ОМ, Н, ПМ, ПБ}.

Кортеж лингвистической переменной «Скорость платформы» имеет вид:

<СКОРОСТЬ ПЛАТФОРМЫ, м/с. {Отрицательная высокая, Отрицательная низкая, Ноль, Положительная низкая, Положительная высокая}, $[-3 - +3]$,> СП = {ОВ, ОН, Н, ПН, ПВ}.

Рассмотрим ситуацию, когда угловая скорость маятника

равна 1,8 рад/с, а угол отклонения маятника от вертикали – 9 °С.

Найдём значения ФП для входных параметров (рис. 1.4). Угловая скорость маятника со степенью уверенности 0,2 является положительной низкой и 0,8 - положительной высокой. Угол отклонения маятника является нулевым со степенью уверенности 0,1 и положительным малым со степенью уверенности 0,9.

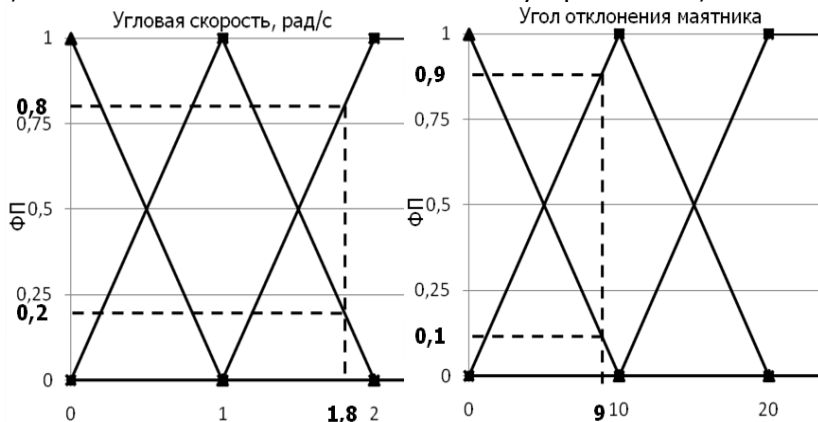


Рис. 1.4. ФП входных параметров

В результате перебора всех комбинаций параметров, по правилам базы знаний (правила № 2 – 5) были получены следующие значения выходного параметра (таблица).

Таблица – Расчетные значения для решения задачи

№ правила	Значения ФП для входных параметров и значения термов выходного параметра			
	УС	УМ	СП	min
2	0,2	0,1	ПН	0,1
3	0,2	0,9	ПН	0,2
4	0,8	0,1	ПН	0,1
5	0,8	0,9	ПВ	0,8

Для каждого из значений скоростей платформы из всех минимумов значений функций принадлежности выбираем макси-

мальное. Полученные максимальные значения наносим на график функции принадлежности выходной переменной – скорость платформы (рис. 1.5).

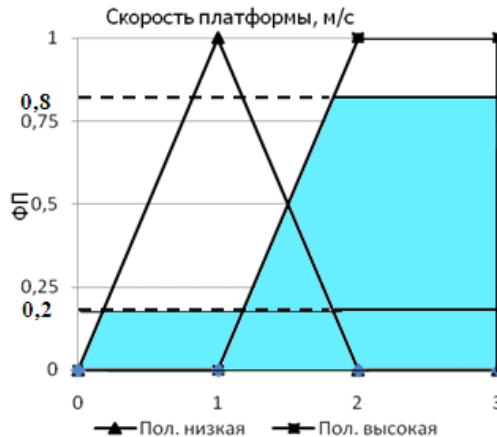


Рис. 1.5. Максимальные значения функции принадлежности выходного параметра

На последнем этапе необходимо вычислить конкретное численное значение выходного параметра.

По формуле (1.1) вычисляем итоговую скорость платформы:

$$V_{пл} = \frac{0,2 \times 2 + 0,8 \times 2}{0,2 + 0,8} = 2.$$

2 ВЫБОР В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

При решении задач выбора (оценки) в условиях неопределенности целесообразно использовать лингвистический подход, основанный на теории нечетких множеств.

В данном случае, для поиска решения необходимо иметь набор правил, адекватно отражающий суть предметной области. В качестве примера можно использовать продукционные правила, основанные на формате «Если-То». Эти правила являются осно-

вой базы знаний экспертной системы и служат для построения механизма вывода решений. Построение базы знаний осуществляется совместно экспертом предметной области и инженером по знаниям.

Правила базы знаний [12]:

Правило 1. Если: Цена поставок должна быть низкая.

То: Поставщик 1 подходит плохо.

Поставщик 2 подходит хорошо.

Поставщик 3 подходит плохо.

Поставщик 4 подходит удовлетворительно.

Правило 2. Если: Уровень цены поставок может быть средний.

То: Поставщик 1 подходит удовлетворительно.

Поставщик 2 подходит хорошо.

Поставщик 3 подходит удовлетворительно.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 3. Если: Цена поставок может быть высокой.

То: Поставщик 1 подходит хорошо.

Поставщик 2 подходит хорошо.

Поставщик 3 подходит хорошо.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 4. Если: Условия оплаты не имеют значения.

То: Поставщик 1 подходит хорошо.

Поставщик 2 подходит хорошо.

Поставщик 3 подходит хорошо.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 5. Если: Требования к условиям оплаты не жесткие.

То: Поставщик 1 подходит хорошо.

Поставщик 2 подходит удовлетворительно

Поставщик 3 подходит удовлетворительно.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 6. Если: Требования к условиям оплаты — кредитование.

То: Поставщик 1 подходит хорошо.

Поставщик 2 подходит плохо.

Поставщик 3 подходит плохо.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 7. Если: Требования к качеству продукции не высокие.

То: Поставщик 1 подходит хорошо.

Поставщик 2 подходит хорошо.

Поставщик 3 подходит хорошо.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 8. Если: Требования к качеству продукции средние.

То: Поставщик 1 подходит хорошо.

Поставщик 2 подходит удовлетворительно.

Поставщик 3 подходит удовлетворительно.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 9. Если: Требования к качеству продукции высокие.

То: Поставщик 1 подходит удовлетворительно.

Поставщик 2 подходит плохо.

Поставщик 3 подходит плохо.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 10. Если: Контракт заключается на 1 поставку.

То: Поставщик 1 подходит хорошо.

Поставщик 2 подходит плохо.

Поставщик 3 подходит плохо.

Поставщик 4 подходит удовлетворительно.

Правило 11. Если: Контракт заключается на небольшой период.

То: Поставщик 1 подходит плохо.

Поставщик 2 подходит хорошо.

Поставщик 3 подходит плохо.

Поставщик 4 подходит удовлетворительно.

Правило 12. Если: Контракт заключается на среднесрочной основе.

То: Поставщик 1 подходит плохо.

Поставщик 2 подходит удовлетворительно.

Поставщик 3 подходит хорошо.

Поставщик 4 подходит хорошо.

Правило 13. Если: Контракт заключается на долгосрочной основе.

То: Поставщик 1 подходит плохо.

Поставщик 2 подходит плохо.
 Поставщик 3 подходит плохо.
 Поставщик 4 подходит хорошо.

Для оценки поставщиков рассмотрим лингвистическую переменную (ЛП) X = привлекательность поставщика, определенную на универсальном множестве U .

Базовое терм-множество X имеет вид:

$T(X) = \{\text{плохая, удовлетворительная, хорошая}\}$.

Значения функций принадлежности термов ЛП представлены в табл. 2.1 и на рис. 2.1.

Таблица 2.1 – Структура ЛП «привлекательность поставщика»

Термы ЛП	Значения базовой переменной										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1.0
	Значения функции принадлежности										
Плохая	1,00	1,00	0,85	0,30	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Удовлетворительная	0,00	0,00	0,00	0,25	0,70	1,00	0,70	0,25	0,00	0,00	0,00
Хорошая	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,30	0,85	1,00	1,00

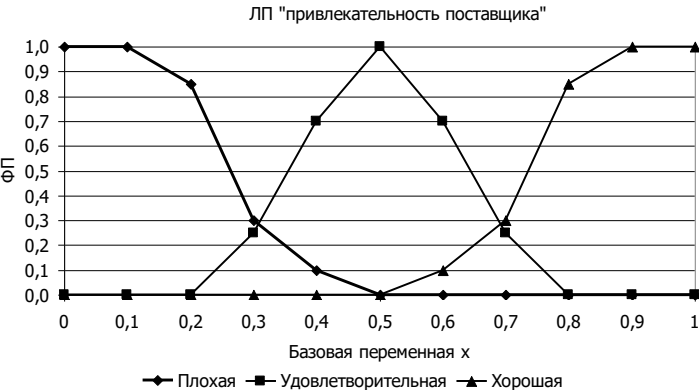


Рис. 2.1. Функция принадлежности ЛП «привлекательность поставщика»

Модельный пример решения задачи

Для решения задачи выбора поставщика в нечетких условиях используем логический вывод, который реализуется за 4 этапа.

1. Выбрать производственные правила, соответствующие исходным требованиям.
2. Для каждого поставщика по каждому выбранному правилу определить лингвистическую переменную, отражающую привлекательность поставщика с точки зрения данного правила.
3. Для каждого поставщика определить функцию совместимости его привлекательности с учетом всех правил как выпуклую комбинацию функций совместимости, определенных на шаге 2 для отдельных правил.
4. По полученным функциям совместимости выбрать наиболее привлекательного поставщика.

Исходные требования к поставщикам могут быть следующие:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции высокие;
- ♦ контракт заключается на среднесрочной основе.

В соответствии с этими исходными требованиями на шаге 1 выбираются производственные правила 1, 4, 9, 12.

По этим правилам на шаге 2 для Поставщика 1 определяем:

по цене подходит плохо;

по условиям оплаты подходит хорошо;

по качеству подходит удовлетворительно;

по продолжительности контракта подходит плохо.

Для Поставщика 2 определяем:

по цене подходит хорошо;

по условиям оплаты подходит хорошо;

по качеству подходит плохо;

по продолжительности контракта подходит удовлетворительно.

Для Поставщика 3 определяем:

по цене подходит плохо;

по условиям оплаты подходит хорошо;

по качеству подходит плохо;

по продолжительности контракта хорошо.

Для Поставщика 4 определяем:

по цене подходит удовлетворительно;

по условиям оплаты подходит хорошо;

по качеству подходит хорошо;

по продолжительности контракта подходит хорошо.

На шаге 3 определим функцию совместимости привлекательности каждого поставщика с учетом всех правил как выпуклую комбинацию функций совместимости для отдельных правил.

Для нашего примера примем, что все параметры (цена, условия оплаты, качество поставок, длительность контракта) равнозначны с точки зрения общей привлекательности, т.е. весовые коэффициенты выпуклой комбинации равны:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 0,25,$$

$$\sum_1^4 \omega_i = 1$$

Для поставщика 1 определяем:

M_1 (привлекательность Поставщика 1) =

= $0,25 \times M(\text{плохая}) + 0,25 \times M(\text{хорошая}) + 0,25 \times$

$M(\text{удовлетворительная}) + 0,25 \times M(\text{плохая}) =$

$$\left\{ \frac{0,5}{0}, \frac{0,5}{0,1}, \frac{0,425}{0,2}, \frac{0,2125}{0,3}, \frac{0,225}{0,4}, \frac{0,25}{0,5}, \frac{0,2}{0,6}, \frac{0,1375}{0,7}, \frac{0,2125}{0,8}, \frac{0,25}{0,9}, \frac{0,25}{1} \right\}$$

Для поставщика 2 определяем:

M_2 (привлекательность Поставщика 2) =

= $0,25 \times M(\text{хорошая}) + 0,25 \times M(\text{хорошая}) + 0,25 \times M(\text{плохая}) +$

+ $0,25 \times M(\text{удовлетворительная}) =$

$$\left\{ \frac{0,25}{0}, \frac{0,25}{0,1}, \frac{0,2125}{0,2}, \frac{0,1375}{0,3}, \frac{0,2}{0,4}, \frac{0,25}{0,5}, \frac{0,225}{0,6}, \frac{0,2125}{0,7}, \frac{0,425}{0,8}, \frac{0,5}{0,9}, \frac{0,5}{1} \right\}$$

Для поставщика 3 определяем:

$$\begin{aligned} M_3 (\text{привлекательность Поставщика 3}) &= \\ &= 0,25 \times M\{\text{плохая}\} + 0,25 \times M\{\text{хорошая}\} + 0,25 \times M(\text{плохая}) + \\ &0,25 \times M(\text{хорошая}) = \end{aligned}$$

$$\left\{ \frac{0,5}{0}, \frac{0,5}{0,1}, \frac{0,425}{0,2}, \frac{0,15}{0,3}, \frac{0,05}{0,4}, \frac{0,0}{0,5}, \frac{0,05}{0,6}, \frac{0,15}{0,7}, \frac{0,425}{0,8}, \frac{0,5}{0,9}, \frac{0,5}{1} \right\}.$$

Для поставщика 4 определяем:

$$\begin{aligned} M_4 (\text{привлекательность Поставщика 4}) &= \\ &= 0,25 \times M(\text{удовлетворительная}) + 0,25 \times M(\text{хорошая}) + \\ &0,25 \times M\{\text{хорошая}\} + 0,25 \times M(\text{хорошая}) = \end{aligned}$$

$$\left\{ \frac{0,0}{0}, \frac{0,0}{0,1}, \frac{0,0}{0,2}, \frac{0,0625}{0,3}, \frac{0,175}{0,4}, \frac{0,25}{0,5}, \frac{0,25}{0,6}, \frac{0,2875}{0,7}, \frac{0,6375}{0,8}, \frac{0,75}{0,9}, \frac{0,75}{1} \right\}$$

Пример вычисления функции принадлежности для поставщика 1 приведен в приложении.

На 4 этапе осуществляем выбор наиболее привлекательного поставщика по полученным функциям совместимости.

Для этого можно использовать выбор по обобщенному расстоянию Хемминга. В этом случае целесообразно стремиться к тому, чтобы оценка привлекательности была как можно ближе к 1. Эту цель можно изобразить с помощью нечеткого множества S «число, близкое к 1».

Функция принадлежности нечеткого множества S имеет вид (рис. 2.2):

$$S = \left\{ \frac{0}{0}, \frac{0}{0,1}, \frac{0}{0,2}, \frac{0}{0,3}, \frac{0}{0,4}, \frac{0,1}{0,5}, \frac{0,2}{0,6}, \frac{0,3}{0,7}, \frac{0,6}{0,8}, \frac{0,9}{0,9}, \frac{1}{1} \right\}.$$

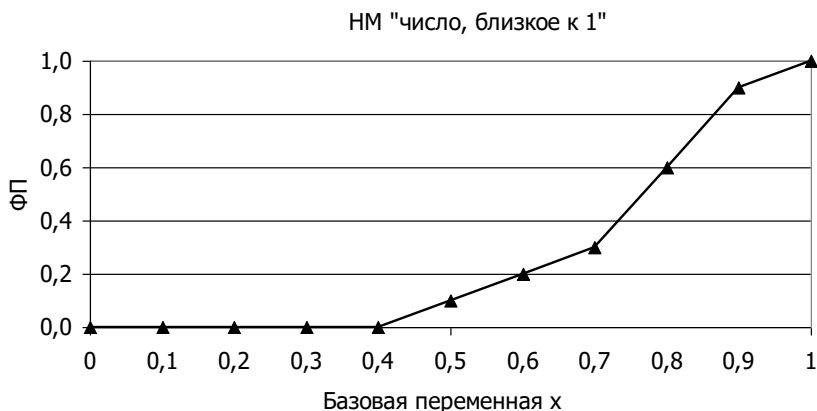


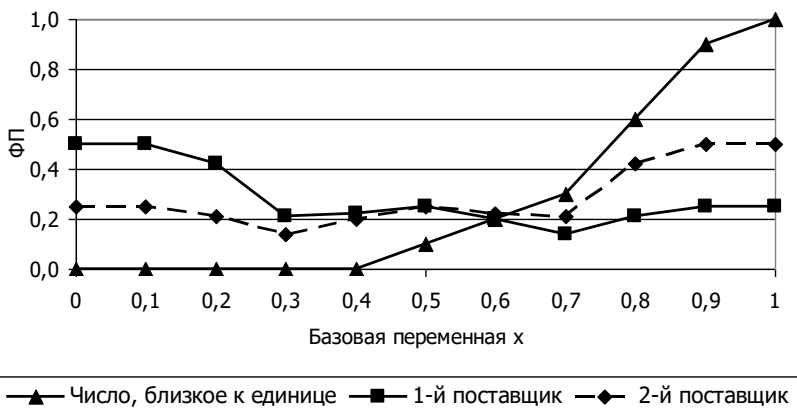
Рис. 2.2. Функция принадлежности нечеткого множества S.

Естественно, что следует выбрать того поставщика, для которого лингвистическая переменная «привлекательность», полученная на этапе 3, отображается в нечеткое множество с минимальным расстоянием Хемминга от нечеткого множества «число, близкое к 1».

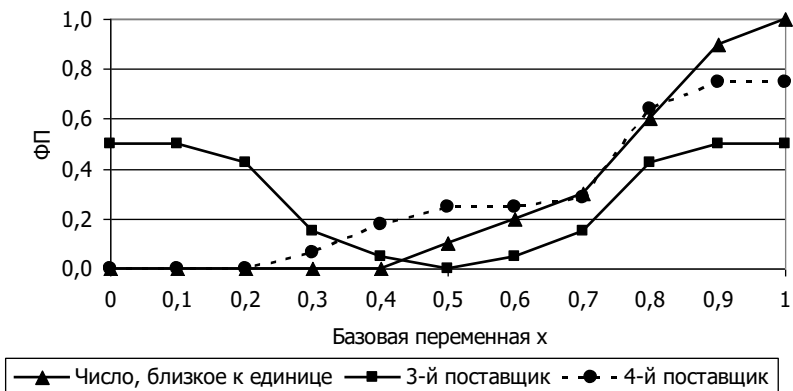
Расстояние Хемминга дает оценку расстояния между нечетким множеством «число, близкое к 1» и нечеткими множествами M_1 (привлекательность поставщика 1), M_2 (привлекательность поставщика 2), M_3 {привлекательность поставщика 3), M_4 {привлекательность поставщика 4).

На рис. 2.3 представлена графическая иллюстрация выше приведенных расчетов.

Из рисунка видно, что кривая функции совместимости для 4-го поставщика находится наиболее близко к кривой функции принадлежности «число, близкое к 1». Таким образом, даже предварительный (визуальный) анализ данных позволяет утверждать, что наиболее привлекателен 4-й поставщик.



а)



б)

Рис. 2.3. Функции совместимости поставщиков:

а) для 1-го и 2 –го поставщиков,

б) для 3-го и 4 –го поставщиков

Расстояния Хемминга обозначим d_1, d_2, d_3, d_4 и определим следующим образом:

♦ для привлекательности Поставщика 1:

$$d_1 = |0,5 - 0| + |0,5 - 0| + |0,425 - 0| + |,2125 - 0| + |0,225 - 0| + |0,25-0,1| + |0,2-0,2| + |0,1375-0,3| + |0,2125-0,6| + + |0,25-0,9| + |0,25-1| = 3,9625;$$

♦ для привлекательности Поставщика 2:

$$d_2 = |0,25-0| + |0,25-0| + |0,2125-0| + |0,1375-0| + |0,2-0| + |0,25-0,1| + |0,225-0,2| + |0,2125-0,3| + |0,425-0,6| + |0,5-0,9| + |0,5-1| = 2,3875;$$

♦ для привлекательности Поставщика 3:

$$d_3 = |0,5 - 0| + |0,5 - 0| + |0,425 - 0| + |0,15 - 0| + |0,05 - 0| + |0 - 0,1| + |0,05 - 0,2| + |0,15 - 0,3| + |0,425 - 0,6| + |0,5-0,9| + |0,5-1| = 3,1;$$

♦ для привлекательности Поставщика 4:

$$d_4 = |0 - 0| + |0 - 0| + |0 - 0| + |0,0625 - 0| + |0,175 - 0| + |0,25-0,1| + |0,25-0,2| + |0,2875-0,3| + |0,6375-0,6| + + |0,75-0,9| + |0,75-1| = 1,45.$$

По критерию минимального расстояния Хемминга выбирается поставщик 4, так как $d_1 > d_3 > d_2 > d_4$.

Приложение А

Пример расчета функции принадлежности для поставщика 1.

В расчете используются данные табл. 2.

Для поставщика 1 определяем:

M_1 (привлекательность Поставщика 1) =

= $0,25 \times M(\text{плохая}) + 0,25 \times M(\text{хорошая}) + 0,25 \times$

$M(\text{удовлетворительная}) + 0,25 \times M(\text{плохая}) = 0,25 \times 1$

№	М	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	Плохая	1,0	1,0	0,85	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Хорошая	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,85	1,0	1,0
3	Удовлетворительная	0,0	0,0	0,0	0,25	0,7	1,0	0,7	0,25	0,0	0,0	0,0
4	Плохая	1,0	1,0	0,85	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Для 1 строки

$0,25 \times 1$; $0,25 \times 1$; $0,25 \times 0,85$; $0,25 \times 0,3$; $0,25 \times 0,1$; $0,25 \times 0$;
 $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$;

Для 2 строки

$0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$;
 $0,25 \times 0,1$; $0,25 \times 0,3$; $0,25 \times 0,85$; $0,25 \times 1$; $0,25 \times 1$;

Для 3 строки

$0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0,25$; $0,25 \times 0,7$; $0,25 \times 1$;
 $0,25 \times 0,7$; $0,25 \times 0,25$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$;

Для 4 строки

$0,25 \times 1$; $0,25 \times 1$; $0,25 \times 0,85$; $0,25 \times 0,3$; $0,25 \times 0,1$; $0,25 \times 0$;
 $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$; $0,25 \times 0$;

Далее проводим поэлементное суммирование для 4 строк.

$0,25 + 0 + 0 + 0,25$; $0,25 + 0 + 0 + 0,25$; $0,2125 + 0 + 0,2125$;
 $0,075 + 0 + 0,0625 + 0,075$; $0,025 + 0 + 0,175 + 0,025$;
 $0 + 0 + 0,25 + 0$; $0 + 0,025 + 0,175 + 0$; $0 + 0,075 + 0,0625 + 0$;
 $0 + 0,2125 + 0 + 0$; $0 + 0,25 + 0 + 0$; $0 + 0,25 + 0 + 0$.

И окончательно

$0,5$; $0,5$; $0,425$; $0,2125$; $0,225$; $0,25$; $0,2$; $0,1375$; $0,2125$;
 $0,25$; $0,25$.

3 РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Цель работы – ознакомление с методикой расчёта показателей согласованности экспертных моделей оценивания нечётких переменных.

3.1 Этапы решения задачи

Для решения задачи необходимо выполнить ряд этапов.

Этап 1. На основании информации, полученной от экспертов, строится к моделей оценивания нечёткой переменной. Каж-

дая из этих k моделей должна включать m термов. Номер эксперта обозначается индексом $i = 1, 2, \dots, k$, номер терма – индексом $l = 1, 2, \dots, m$. Функция принадлежности, которую задал i -ый эксперт для l -го терма, обозначается $\mu_{il}(x)$.

Этап 2. Нормализация шкалы значений аргумента путём деления всех значений шкалы на её максимальное значение.

Этап 3. Вычисление показателей различия между моделями оценивания нечёткой переменной всех экспертов. Показатель различия между моделями i -го и j -го экспертов в рамках l -го терма определяется по формуле:

$$d(\mu_{il}, \mu_{jl}) = \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx \quad (3.1)$$

Показатель сходства между этими же моделями в рамках того же самого l -го терма определяется величиной

$$\bar{k}_{i,j}^l = 1 - d(\mu_{il}, \mu_{jl}) \quad (3.2)$$

Показатель различия между моделями X_i и X_j экспертного оценивания нечёткой переменной, которые представлены i -ым и j -ым экспертами соответственно по всем термам, определяется как:

$$d(X_i, X_j) = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^m \int_0^1 |\mu_{il}(x) - \mu_{jl}(x)| dx \quad (3.3)$$

Показатель сходства двух моделей X_i и X_j есть:

$$\bar{k}_{i,j} = 1 - d(X_i, X_j) \quad (3.4)$$

Этап 4. Вычисление показателя согласованности. Показатель согласованности моделей X_i и X_j в рамках l -го терма определяется как:

$$k_{ij}^l = \frac{\int_0^1 \min[\mu_{il}(x), \mu_{jl}(x)] dx}{\int_0^1 \max[\mu_{il}(x), \mu_{jl}(x)] dx} \quad (3.5)$$

Показатель согласованности моделей X_i и X_j по всем термам определяется как:

$$k_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\int_0^1 \min[\mu_{ii}(x), \mu_{ji}(x)] dx}{\int_0^1 \max[\mu_{ii}(x), \mu_{ji}(x)] dx} \quad (3.6)$$

и, таким образом,

$$k_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m k_{ij}^{-i} \quad (3.7)$$

После вычисления показателей согласованности моделей всех экспертов строится матрица парной согласованности моделей всех экспертов.

Аддитивный показатель общей согласованности k и мультипликативный показатель общей согласованности \tilde{k} множества моделей экспертного оценивания нечёткой переменной определяются выражениями:

$$k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\int_0^1 \min \mu_{ji}(x) dx}{\int_0^1 \max \mu_{ji}(x) dx} \quad (3.8)$$

$$\tilde{k} = \sqrt[m]{\frac{\int_0^1 \min \mu_{ji}(x) dx}{\int_0^1 \max \mu_{ji}(x) dx}} \quad (3.9)$$

Показатели k и \tilde{k} изменяются в пределах $0 \leq k \leq 1$, $0 \leq \tilde{k} \leq 1$. Если нет пересечений у функций принадлежности всех термов, то $k=0$. Если нет пересечений у функций принадлежности хотя бы одного термина, то $\tilde{k}=0$

Также показатели сходства и согласованности моделей двух экспертов в рамках l -го термина можно вычислить на основании расчётов для типичных случаев показателей различия, приведённых ниже.

Для построения ФП использованы типовые функции:

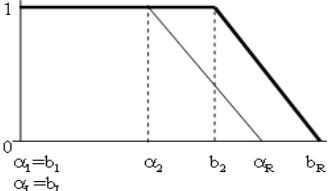
$$\mu(x, a, b) = \begin{cases} 1, \text{если } x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, \text{если } a \leq x \leq b \\ 0, \text{если } x \geq b \end{cases} \quad (3.10)$$

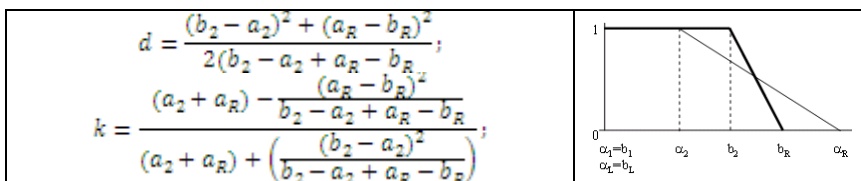
$$\mu(x, a, b) = \begin{cases} 0, \text{если } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, \text{если } a \leq x \leq b \\ 1, \text{если } x \geq b \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, \text{если } x \leq a \\ \frac{x-a}{c-a}, \text{если } a \leq x \leq c \\ \frac{b-x}{b-c}, \text{если } c \leq x \leq b \\ 0, \text{если } x \geq b \end{cases} \quad (3.12)$$

Крайний левый терм (уравнение 3.10).

Таблица 3.1 – Типичные случаи показателей различия для левого терма.

Показатели различия $d(\mu_{il}, \mu_{jl})$ и согласовности k_{ij}^l	Вид ФП
$d = \frac{(b_2 + b_R) - (a_2 + a_R)}{2};$ $k = \frac{a_2 + a_R}{b_2 + b_R};$	



Крайний правый терм (уравнение 3.11).

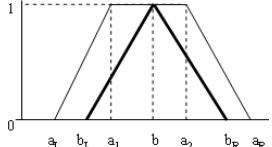
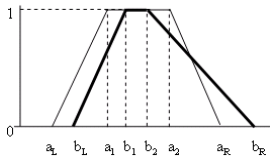
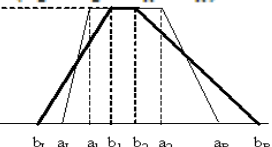
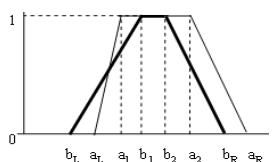
Таблица 3.2 – Типичные случаи показателей различия для правого термина.

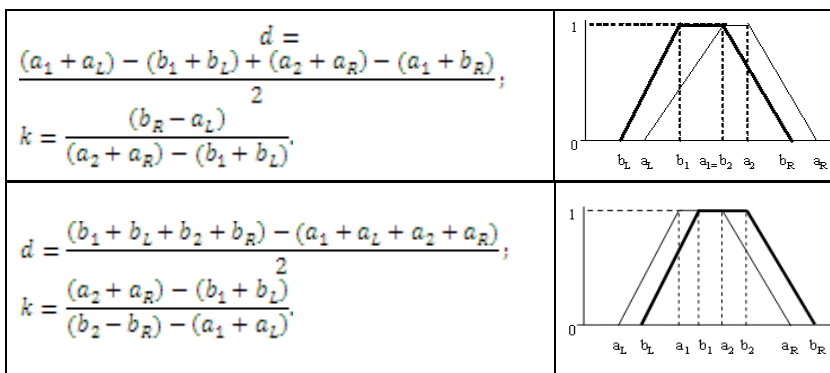
Показатели различия $d(\mu_{il}, \mu_{jl})$ и согласованности \tilde{k}_{ij}^l	Вид ФП
$d = \frac{(b_1 - a_1 + b_L - a_L)}{2 - (b_1 + b_L)};$ $k = \frac{2 - (b_1 + b_L)}{2 - (a_1 + a_L)};$	
$d = \frac{(b_1 - a_1)^2 + (a_L - b_L)^2}{2(b_1 - a_1 + a_L - b_L)^2};$ $k = \frac{2 - (b_1 + b_L) - \frac{(a_L - b_L)^2}{b_1 - a_1 + a_L - b_L}}{2 - (b_1 + b_L) + \frac{(b_1 - a_1)^2}{b_1 - a_1 + a_L - b_L}};$	

Средний терм (уравнение 3.12).

Таблица 3.3 – Типичные случаи показателей различия для средних термов.

Показатели различия $d(\mu_{il}, \mu_{jl})$ и согласованности \tilde{k}_{ij}^l	Вид ФП
$d = \frac{(b_1 + b_L) + (a_2 + a_R) - (a_1 + a_L) - (b_2 + b_R)}{2};$ $k = \frac{(b_2 + b_R) - (b_1 + b_L)}{(a_2 + a_R) - (a_1 + a_L)};$	

$d = \frac{(a_R - a_L) + (a_2 - a_1) - (b_R - b_L)}{2}$ $k = \frac{b_R - b_L}{(a_2 - a_1) + (a_R - a_L)}$	
$d = \frac{(b_1 + b_L) - (a_1 + a_L)}{2} + \frac{(a_2 - b_2)^2 + (b_R - a_R)^2}{2(a_2 - b_2 + b_R - a_R)}$ $k = \frac{(b_R - b_L) + (b_2 - b_1) - \frac{(b_R - a_R)^2}{(a_2 - b_2 + b_R - a_R)}}{(a_R - a_L) + (a_2 - a_1) + \frac{(b_R - a_R)^2}{(a_2 - b_2 + b_R - a_R)}}$	
$d = \frac{(a_L - b_L)^2 + (b_1 - a_1)^2}{2(b_1 - a_1 + a_L - b_L)} + \frac{(a_2 - b_2)^2 + (b_R - a_R)^2}{2(a_2 - b_2 + b_R - a_R)}$ $k = \frac{(b_R - b_L) + (b_2 - b_1) - \frac{(b_1 - a_1)^2}{(b_1 - a_1 + a_L - b_L)} - \frac{(b_R - a_R)^2}{(a_2 - b_2 + b_R - a_R)}}{(a_R - a_L) + (a_2 - a_1) + \frac{(b_1 - a_1)^2}{(b_1 - a_1 + a_L - b_L)} + \frac{(b_R - a_R)^2}{(a_2 - b_2 + b_R - a_R)}}$	
$d = \frac{(a_L - b_L)^2 + (b_1 - a_1)^2}{2(b_1 - a_1 + a_L - b_L)} + \frac{(a_2 + a_R) - (b_2 + b_R)}{2}$ $k = \frac{(b_R - b_L) + (b_2 - b_1) - \frac{(a_L - b_L)^2}{(b_1 - a_1 + a_L - b_L)}}{(a_R - a_L) + (a_2 - a_1) + \frac{(a_L - b_L)^2}{(b_1 - a_1 + a_L - b_L)}}$	



3.2 Пример расчета показателей

Рассмотрим задачу представления лингвистической переменной «влажность хлебостоя». Три эксперта дали оценки функций принадлежности для 3 термов данной лингвистической переменной («сухой», «нормальный», «влажный»).

Графики функций принадлежности и значения параметров рассматриваемых моделей представлены на рис. 3.1.

Определим показатели различия и согласованности между моделями экспертного оценивания нечёткой переменной «влажность хлебостоя» 1-го и 2-го экспертов.

Нормализуем шкалу значений аргумента. Для этого разделим все значения x на максимальное значение шкалы (в данном случае на 22).

На рис. 3.2 – 3.4 представлены графики термов модели экспертного оценивания первого и второго экспертов. Левый терм соответствует 1 типичному случаю, представленному в табл. 3.1. Следовательно, показатель различия моделей двух экспертов в рамках левого терма будет определяться выражением:

$$d(\mu_{1,2}, \mu_{2,2}) = \frac{(b_2 + b_R) - (a_2 + a_R)}{2} = 0,05.$$

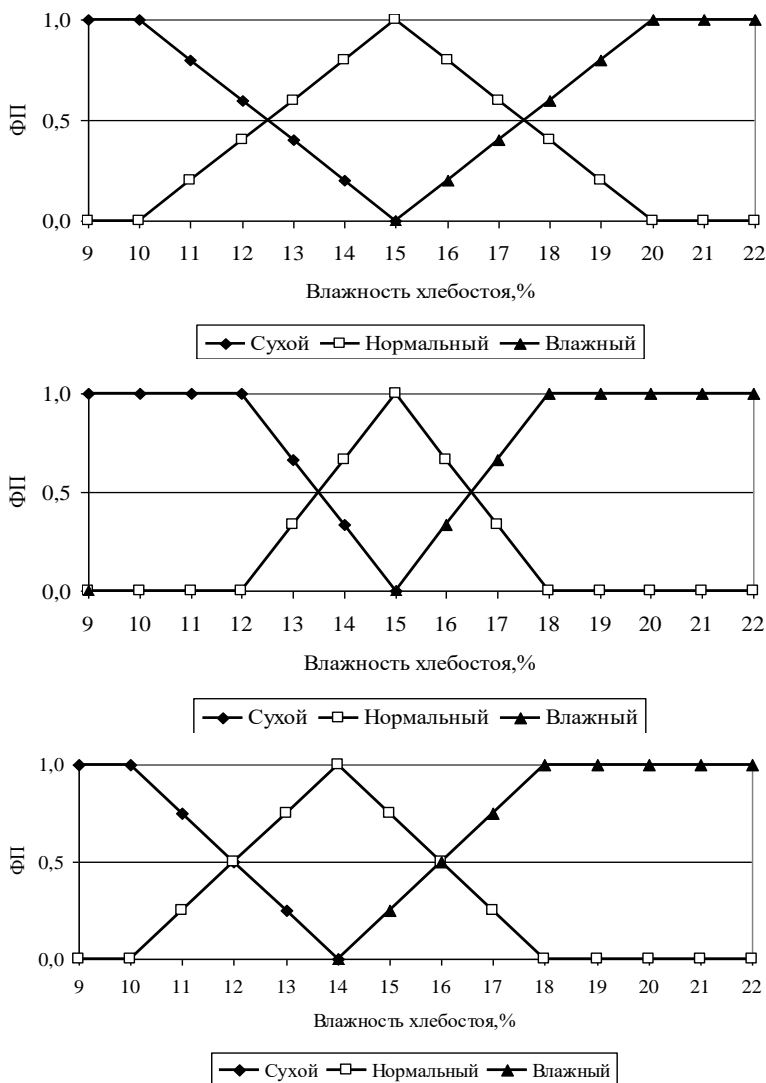


Рисунок 3.1 – Функции принадлежности трех термов лингвистической переменной «Влажность хлебостоя»

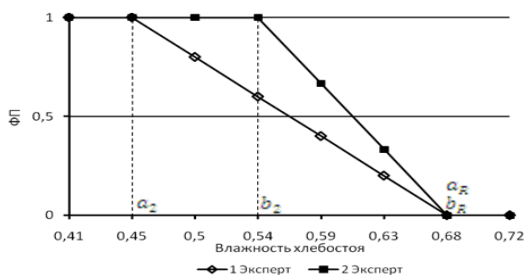


Рисунок 3.2 – График ФП левого термина 1 и 2 экспертов.

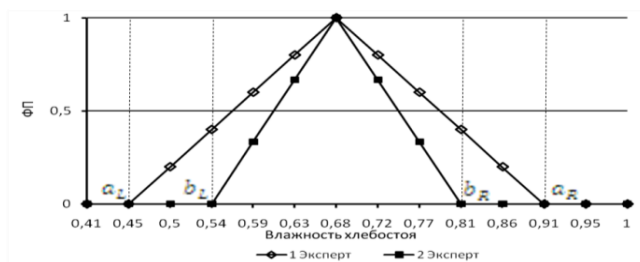


Рисунок 3.3 – График ФП среднего термина 1 и 2 экспертов.

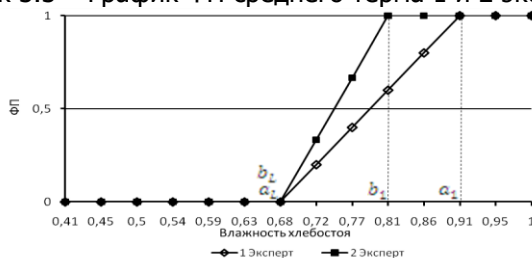


Рисунок 3.4 – График ФП правого термина 1 и 2 экспертов

Показатель сходства равен:

$$\bar{k}_{1,2}^{-1} = 1 - 0,05 = 0,95.$$

Показатель согласованности определяется как:

$$k_{1,2}^1 = \frac{a_2 + a_R}{b_2 + b_R} = \frac{0,45 + 0,68}{0,54 + 0,68} = 0,92$$

Для среднего термина моделей 1 и 2 экспертов показатель различия определяется выражением для случая 2 в табл. 3.3:

$$d(\mu_{1,2}, \mu_{2,2}) = \frac{(a_R - a_L) + (a_2 - a_1) - (b_R - b_L)}{2} = 0,2$$

$$\bar{k}_{1,2}^2 = 1 - 0,2 = 0,8$$

$$k_{1,2}^2 = \frac{b_R - b_L}{a_R - a_L} = 0,6$$

Правый терм соответствует варианту 1 в табл. 2:

$$d(\mu_{1,3}, \mu_{2,3}) = \frac{(a_1 - b_1 + a_L - b_L)}{2} = 0,05$$

$$\bar{k}_{1,2}^3 = 1 - 0,05 = 0,95$$

$$k_{1,2}^3 = \frac{2 - (a_1 + a_L)}{2 - (b_1 + b_L)} = 0,8$$

Показатель различия между моделями X_1 и X_2 экспертного оценивания нечёткой переменной по всем термам, определяется как:

$$d(X_1, X_2) = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^3 \int_0^1 |\mu_{1i}(x) - \mu_{2i}(x)| dx = 0,15$$

Показатель сходства двух моделей X_1 и X_2 экспертного оценивания нечёткой переменной по всем термам есть:

$$\bar{k}_{1,2}^2 = 1 - d(X_1, X_2) = 1 - 0,15 = 0,85$$

Показатель согласованности моделей X_1 и X_2 по всем термам определяется как:

$$k_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{\int_0^1 \min[\mu_{1i}(x), \mu_{2i}(x)] dx}{\int_0^1 \max[\mu_{1i}(x), \mu_{2i}(x)] dx} = 0,77$$

Аналогичные расчёты производятся для моделей экспертного оценивания нечёткой переменной «влажность хлебостоя» 1-3 и 2-3 экспертов. Результаты расчётов заносятся в матрицы парного сходства и согласованности моделей экспертов (табл. 3.4 и 3.5).

Таблица 3.4 – Матрица парного сходства моделей экспертного оценивания нечёткой переменной.

	X_1	X_2	X_3
X_1	1	0,85	0,905
X_2	0,85	1	0,895
X_3	0,905	0,895	1

Таблица 3.5 – Матрица парной согласованности моделей экспертного оценивания нечёткой переменной.

	X_1	X_2	X_3
X_1	1	0,77	0,78
X_2	0,77	1	0,79
X_3	0,78	0,79	1

Аддитивный и мультипликативный показатели общей согласованности 3 моделей экспертного оценивания нечёткой переменной определяются как:

$$k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\int_0^1 \min \mu_{ji}(x) dx}{\int_0^1 \max \mu_{ji}(x) dx} \quad \forall i = 1, 2, \dots, k = 0,78; \quad \bar{k} = \sqrt[m]{\frac{\int_0^1 \min \mu_{ji}(x) dx}{\int_0^1 \max \mu_{ji}(x) dx}} \quad \forall i = 1, 2, \dots, k = 0,77.$$

Рассчитанные показатели сходства и согласованности моделей экспертного оценивания нечёткой переменной «влажность хлебостоя» свидетельствуют о достаточно высокой степени согласованности оценок трёх экспертов.

4 АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕЧЕТКОСТИ

Цель работы – ознакомление студентов с методикой расчёта показателей нечеткости и согласованности экспертных моделей оценивания нечётких переменных при помощи специализированного программного продукта.

4.1 Последовательность работы с программой

1. Открыть окно программы двойным щелчком мыши по соответствующему ярлыку.

2. В появившемся окне (рис. 4.1) ввести наименование и границы базовой шкалы лингвистической переменной. Границы лингвистической шкалы можно вводить как в нормированных величинах, так и в единицах измерения переменной.

Построение функции принадлежности (ЛП Влажность)

Операции Справка Выход

Выберите лингвистическую переменную

Наименование	Нижняя граница	Верхняя граница	Пок-ль согл. (мульт)	Пок-ль согл. (адд)
Влажность	9.0	22.0	0,571	0,576
Влажность зерна (4 терма)	9.0	22.0		
Влажность хлебостоя	9.0	22.0	0,642	0,651
Влажность хлебостоя (3 терма)	9.0	22.0	0,607	0,617
Влажность хлебостоя (4 терма)	9.0	22.0	0,554	0,579
Засоренность (3-1 терма)	0.0	1.0	0,562	0,572
Засоренность (3 терма)	0.0	1.0	0,821	0,825
Засоренность (4 терма)	0.0	1.0	0,859	0,861
Засоренность (4-1 терма)	0.0	1.0	0,466	0,479
Засоренность (5 термов)	0.0	1.0	0,821	0,822
Засоренность (5-1 термов)	0.0	1.0	0,436	0,469

Добавить Редактировать Удалить

Далее

Рис. 4.1 – Окно ввода наименования и границ базовой шкалы ЛП

3. После ввода данных нажать кнопку «Далее». В появившемся окне, при помощи кнопок «Добавить», «Редактировать», «Удалить», ввести имена нужного количества экспертов (рис. 4.2) и нажать «Далее».

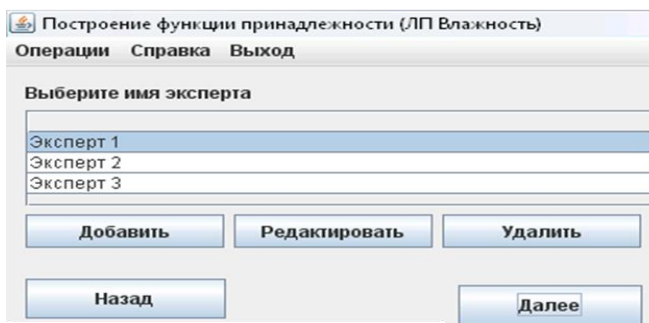


Рисунок 4.2 – Окно ввода числа и наименования экспертов

4. В появившемся окне (рис. 4.3), при помощи кнопок «Добавить», «Редактировать», «Удалить», необходимо ввести количество и границы термов лингвистической переменной и нажать «Далее». Следует устанавливать самые широкие, из всех установленных экспертами, границы термов. Внесённая в данном окне информация автоматически будет установлена для всех экспертов.

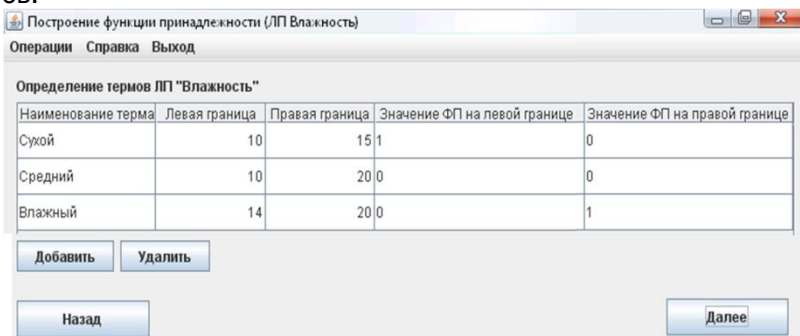


Рис. 4.3 – Окно ввода наименований и границ термов ЛП

5. В следующем окне (рис. 4.4) автоматически будет создано графическое представление операции по определению термов ЛП. В случае соответствия полученных границ термов представлениям эксперта, необходимо нажать «Далее», в противном случае нажать «Назад» и внести необходимые корректировки в исходные данные.

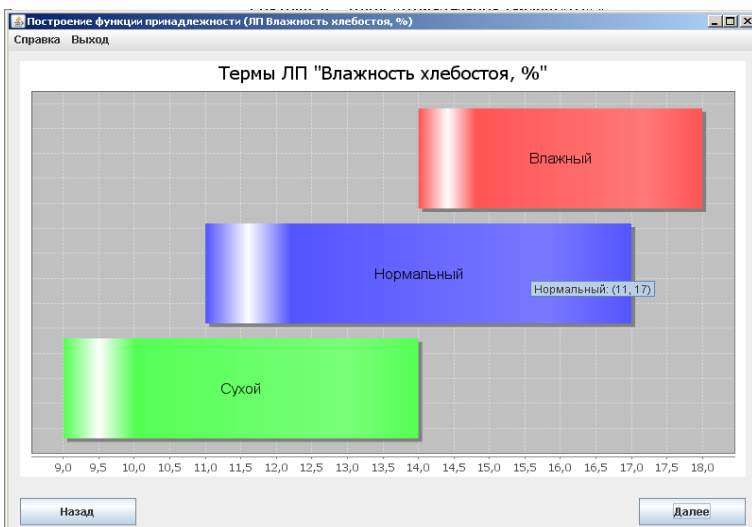


Рис. 4.4. Окно графического представления операции по определению термов ЛП

6. В следующем окне (рис. 4.5) следует выбрать способ построения функции принадлежности. Программа позволяет строить функции принадлежности экспертным методом, методом деления ФП пополам и при помощи типовых функций. В данном пособии рассматривается построение ФП при помощи типовых функций.

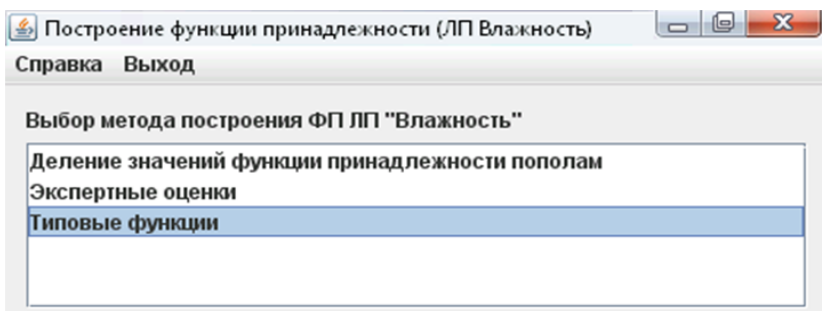


Рис. 4.5. Окно выбора метода построения ФП

7. В следующем окне (рис. 4.6) необходимо выбрать из выпадающего списка вид функции и задать её параметры (точки, в которых функция имеет значения 1 и 0). Затем нажать «Далее»

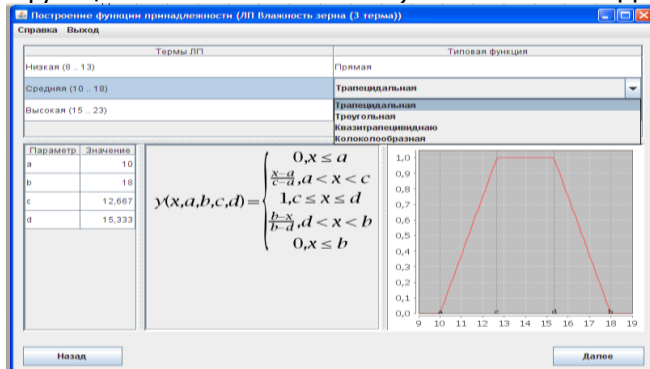


Рис. 4.6. Определение значений параметров типовых функций

8. После нажатия кнопки «Далее» появится окно общего вида функции принадлежности ЛП (рис. 4.7).

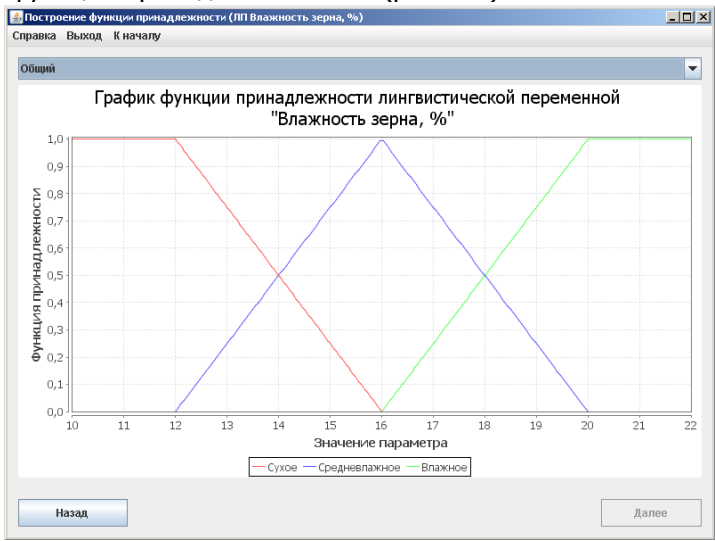


Рис. 4.7. График функции принадлежности ЛП

При помощи выпадающего списка в верхней части окна программы можно изменить перечень отображаемых термов.

После завершения построения общего вида функции принадлежности необходимо вернуться к начальному окну программы, нажав кнопку «К началу» основного меню.

8. После повторения операций, указанных в п.п. 4 – 7, для всех экспертов, мультипликативный и аддитивный показатели общей согласованности будут автоматически вычислены и показаны в начальном окне программы.

9. Для получения подробных расчётов индексов нечёткостей, показателей согласованности по отдельным термам необходимо в начальном окне программы выбрать рассматриваемую лингвистическую переменную, и на вкладке «Операции», в левом верхнем углу окна программы, выбрать «Рассчитать показатель согласованности». После нажатия данной кнопки появится окно, содержащее результаты расчётов матриц парной согласованности (рис. 4.8).

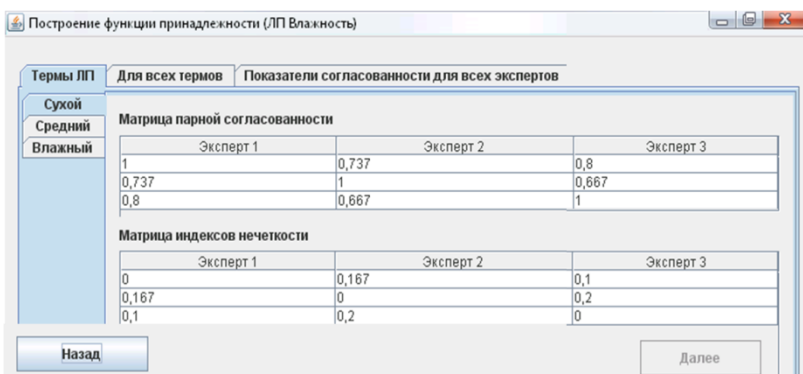


Рис. 4.8. Результат расчета матриц парной согласованности и индексов нечёткости по каждому терму для всех экспертов

Перемещаясь по вкладкам данного окна, можно просматривать как результаты расчётов парной согласованности и индексов нечёткости по отдельным термам, так и для всех термов и всех экспертов (рис. 4.9, 4.10).

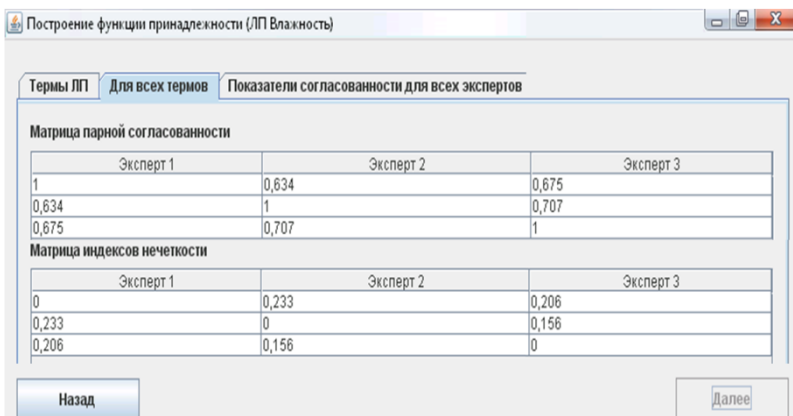


Рис. 4.9. Результат расчета матриц парной согласованности и индексов нечёткости для всех термов

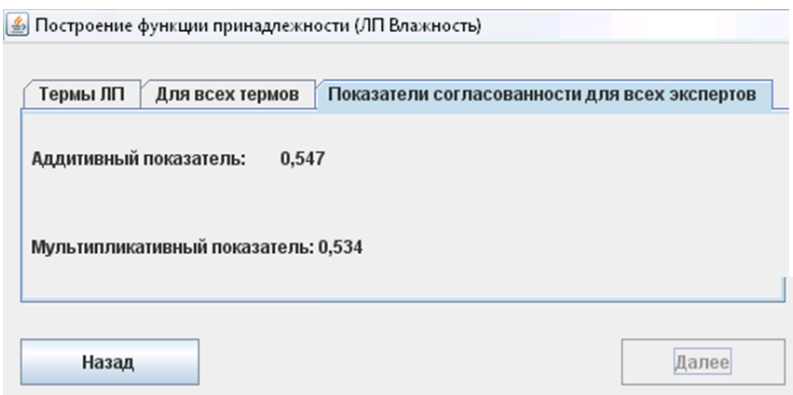


Рис. 4.10. Окно вывода общих результатов расчетов

5 МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ЗНАНИЙ В СРЕДЕ MATLAB

Целью практической работы является освоение навыков построения функций принадлежности и анализа результатов моделирования нечетких экспертных знаний с помощью одного из

широко известных программных продуктов – MATLAB (фирмы MathWorks, Inc).

Система Fuzzy Inference System содержит следующие окна (рис. 5.1): Fuzzy Inference System Editor (FIS Editor) — редактор нечеткой системы; Membership Function Editor — редактор функций принадлежности; Rule Editor — редактор правил; Rule Viewer — просмотрщик правил; Surface Viewer — просмотрщик поверхности отклика. Редактор FIS Editor обеспечивает доступ к окнам редактора функций принадлежности.

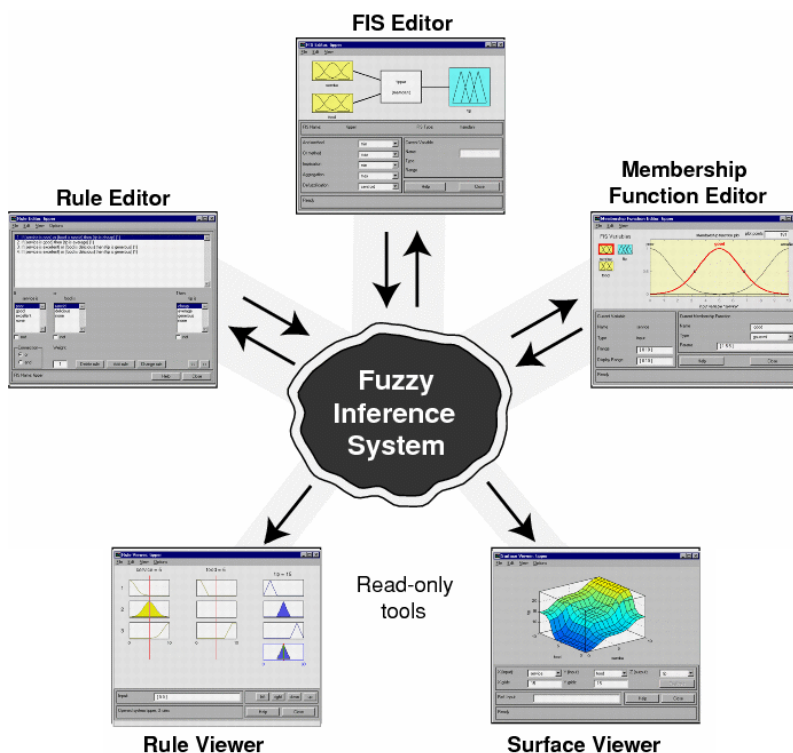


Рис. 5.1. Структурная схема системы нечеткого логического вывода

Рассмотрим задачу определения значений одного из регулируемых параметров комбайна от внешних факторов среды: урожайности зерна, засоренности, влажности, соломистости хлебостоя.

Функции принадлежности соломистости, урожайности, влажности были построены с учетом данных [1]. Все функции принадлежности, используемые в системе — треугольные (trimf), а их число подобрано исходя из требуемой точности вычислений.

Кроме функций принадлежности нечеткая аппроксимирующая система требует формулирования и ввода в нее так называемых правил, т.е. суждений типа «если ..., то», называемых еще импликациями. Правила определяют взаимосвязь между входами и выходами системы, позволяя ей генерировать четкий вывод, учитывая нечеткие суждения. Формулирование правил осуществляют эксперты, имеющие опыт оценки подобных объектов. От компетентности экспертов зависит корректность работы системы.

Сформулированные правила вводят в систему при помощи редактора правил Rule Editor.

5.1 Последовательность работы с блоком Fuzzy Logic Toolbox.

1. Нажать на ярлык пакета Matlab
2. В появившемся командном окне набрать команду fuzzy (вызов прикладного пакета) и нажать клавишу Enter. В результате выполнения команды появится окно (рис. 5.2).

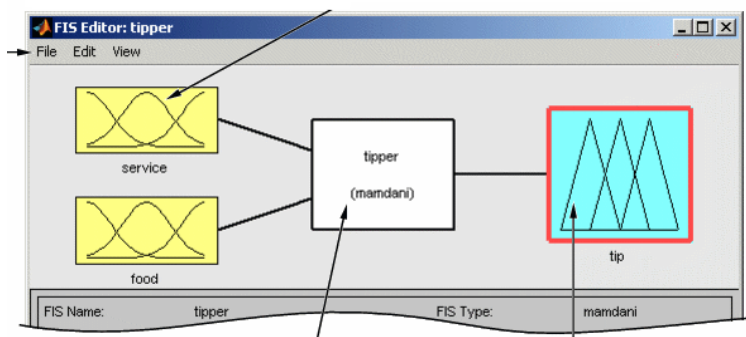


3. Основы работы с окном и назначение клавиш пакета Fuzzy Logic Toolbox показаны на рис. 5.2 и 5.3.

The FIS Editor

Командная строка для открытия, сохранения, изменения параметров модели

Двойной клик "мышкой" для открытия окна редактора функций принадлежности входного параметра Membership Function Editor



Двойной клик "мышкой" для открытия окна создания, изменения и просмотра правил Rule Editor

Двойной клик "мышкой" для открытия окна редактора функций принадлежности выходного параметра Membership Function Editor

Рис. 5.2. Результат выполнения команды fuzzy

Имя создаваемой модели, которое задается с помощью команды Save as... на вкладке File главного меню Fis Editor

Параметры аккумуляции и агрегирования

Имя, структура и количество правил задаваемой модели на стадии проектирования

Имя задаваемой входной или выходной переменной

Рис. 5.3. Выбор и назначение опций

4. Сохранить создаваемую модель под оригинальным именем Student, (File/Export.../From File.../Student1.fis).

5. В качестве первой входной переменной input1 используем параметр «урожайность». Введем имя переменной и нажмем Enter (рис. 5.4).

6. Добавить вторую переменную в модель (рис. 5.5). В качестве второй переменной input2 используем параметр «Соломи-стость».

7. Аналогичным образом добавить входные параметры input3 - «засоренность» и input4 - «влажность».

8. Произвести (при необходимости) редактирование функций принадлежности (рис. 5.6). Дважды щелкая «мышкой» по окнам входных и выходных параметров, открываем окно редактора функций принадлежности.

9. В качестве выходной переменной output1 используем параметр «скорость» (рис. 5.7).

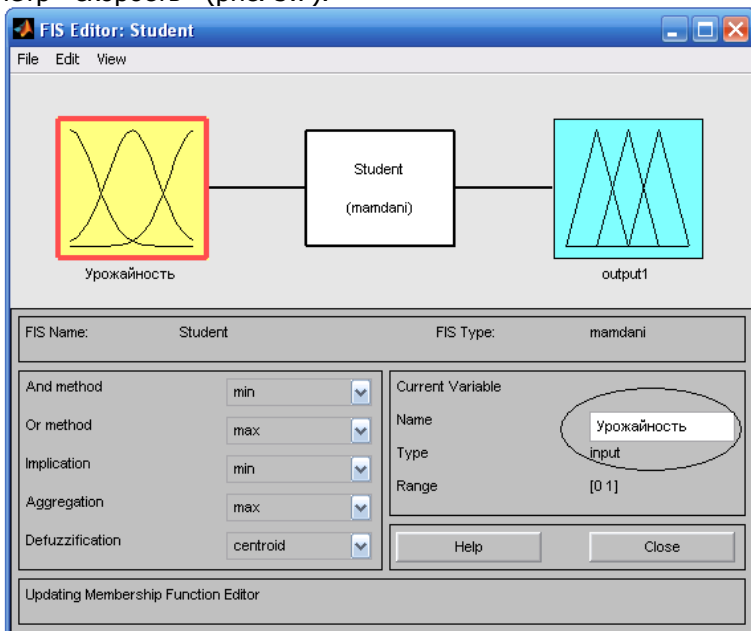


Рис. 5.4. Окно решения задачи

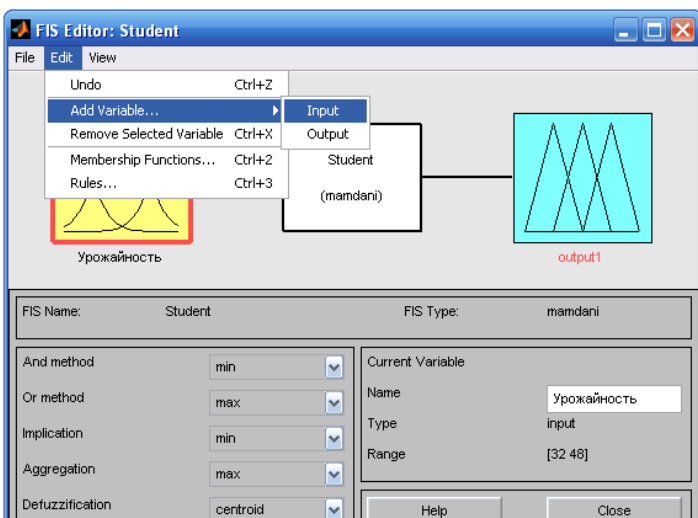


Рис. 5.5. Добавление переменных задачи

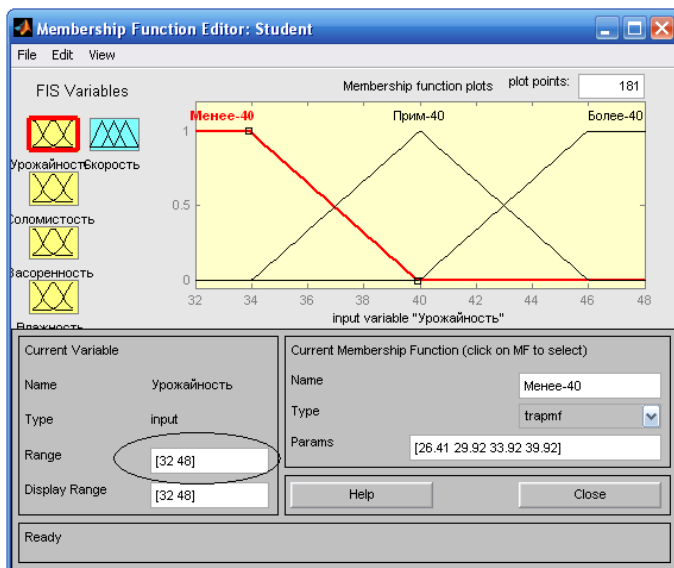


Рис. 5.6. Окно формирования входной переменной

10. Произвести фаззификацию переменных.

В качестве терм-множеств входной переменной «Урожайность» использовать множество $T1 = \{\text{«Менее 40»}, \text{«Примерно 40»}, \text{«Более 40»}\}$ с функциями принадлежности термов, изображенными на рис. 5.6.

В качестве терм-множеств входной переменной «Соломистость» будем использовать множество $T2 = \{\text{«низкая»}, \text{«высокая»}\}$ с функциями принадлежности термов. Задаем шкалу изменения параметра «Соломистость» Range [40 60].

Чтобы задать имя терма, с помощью «мышки» его необходимо выделить, указать его имя, по необходимости переместить в нужное числовое значение. Прделав эту операцию необходимо задать шкалу изменения параметра «Урожайность» Range [32 48].

В качестве терм-множеств входной переменной «Засоренность» использовать множество $T3 = \{\text{«низкая»}, \text{«высокая»}\}$. Задаем шкалу изменения параметра «Засоренность» Range [0 40].

В качестве терм-множеств входной переменной «Влажность» будем использовать множество $T4 = \{\text{«низкая»}, \text{номинальная»}, \text{«высокая»}\}$ с функциями принадлежности термов. Задаем шкалу изменения параметра «Влажность» Range [10 18].

Для выходной переменной «Скорость» использовать множество $T5 = \{\text{«очень низкая»}, \text{«низкая»}, \text{«ниже номинальной»}, \text{«номинальная»}, \text{«выше номинальной»}, \text{«высокая»}, \text{«очень высокая»}\}$ с функциями принадлежности термов. Шкала изменения параметра «Скорость» Range [2.5 6.5] показана на рис. 5.7.

11. С помощью редактора правил (Edit/Rules) задать правила логического вывода. Чтобы добавить правило нажмите клавишу Add Rule, удалить - Delete Rule, изменить – Change Rule. Результат ввода правил показан на рис. 5.8.

12. Для вывода результатов моделирования в окне Rule Editor щелкаем на вкладку View (Вид) и выбираем отображение вкладку Rules...или нажимаем Ctrl+5.

Результат моделирования будет представлен в виде совокупности термов на основе заданных правил в окне Rules Viewer.

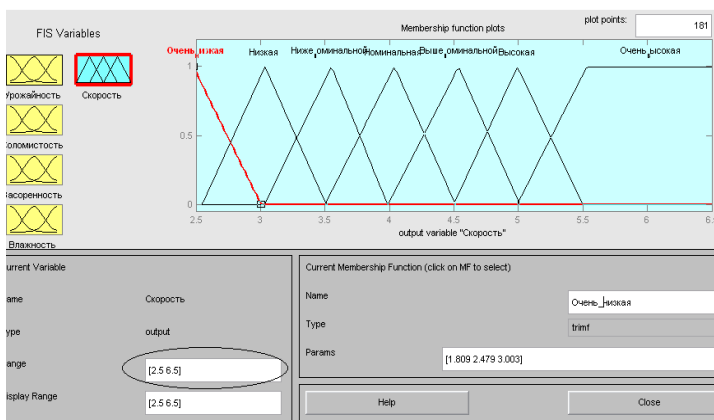


Рис. 5.7. Окно формирования выходной переменной

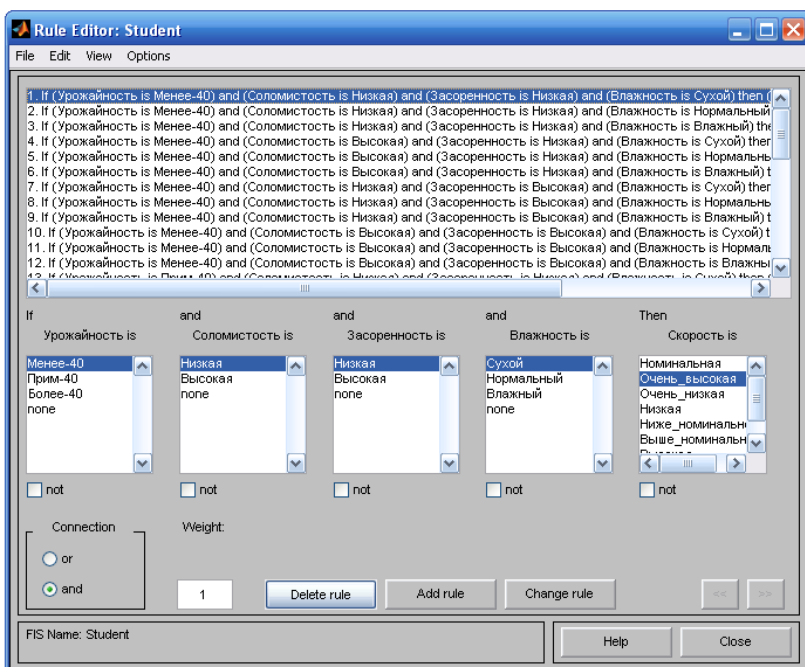


Рис. 5.8. Окно редактирования правил

Перемещаться по окну можно с помощью клавиш Up (Вверх), Down (Вниз), Right (Вправо), Left (Влево).

Чтобы просмотреть правила не отображающиеся на экране нажмите клавишу Up. Результат моделирования скорости сразу будет представлен внизу окна Rules Viewer в виде красной отметки, а точное значение скорости вверху окна Rules Viewer, рис. 5.9.

Изменить параметры модели возможно в окне Input, или перемещая курсор с помощью мыши в графических окнах Rules Viewer.

13. Построить поверхности отклика зависимости выходного параметра от входных (Нажать Ctrl+6 или в окне Rules Viewer выбрать View/ Surface...). В данном окне можно изменять входные параметры, выбирать параметры осей, вращать построенную поверхность (рис. 5.10).

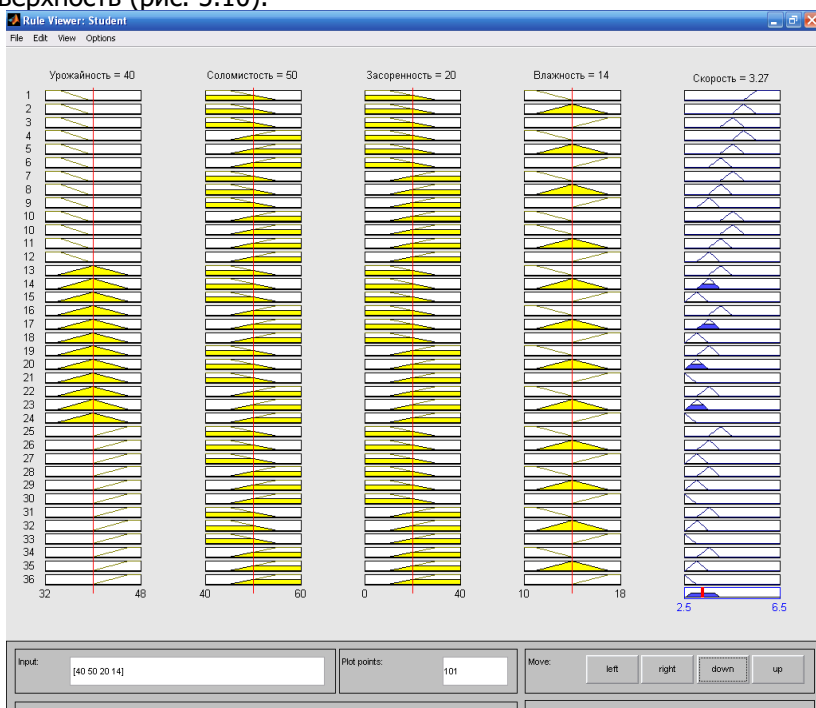


Рис. 5.9. Схема получения численного решения

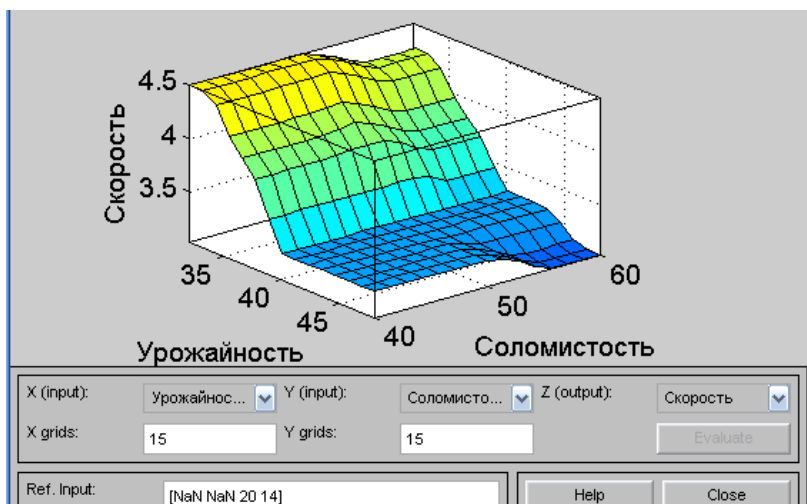


Рис. 5.10. Вариант построения поверхности отклика

ПРИЛОЖЕНИЕ А – задания к работе «ВЫБОР ПОСТАВЩИКА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ»

Достаточно сложно количественно оценить и ранжировать поставщиков ресурсов по таким критериям, как качество, цена, условия оплаты, кредитоспособность, дополнительные услуги, сроки и способ поставок, комплектность поставок, надежность поставок, стоимость транспортировки, каналы связей, взаимообмен информацией и т.д. В этом случае лицу, принимающему решение, гораздо удобнее оперировать не с количественными, а с качественными оценками.

Рассмотрим задачу выбора поставщика на основе четырех критериев: цена, условия оплаты, качество поставок, длительность контракта. Исходные данные о поставщиках представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходная информация о поставщиках

Поставщик	Цена поставок	Условия оплаты	Качество поставок	Продолжительность контракта
Поставщик 1	Высокая	Кредитование в течение 30 дней	Среднее	Одноразовые поставки
Поставщик 2	Низкая	100% предоплата	Низкое	В течение небольших периодов
Поставщик 3	Высокая	100% предоплата	Низкое	Поставки на среднесрочной основе
Поставщик 4	Средняя	Кредитование в течение 30 дней	Высокое	Поставки на среднесрочной основе

Варианты заданий для самостоятельной работы

По критерию минимального расстояния Хемминга выбрать поставщика в соответствии с заданными условиями.

1. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции низкие;
- ♦ контракт заключается на условиях одноразовых поставок.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,25$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,25$.

2. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции низкие;
- ♦ контракт заключается на среднесрочной основе.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,25$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,25$.

3. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции низкие;
- ♦ контракт заключается на небольшие периоды.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,25$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,25$.

4. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции средние;
- ♦ контракт заключается на условиях одноразовых поставок.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,2$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,3$.

5. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции средние;
- ♦ контракт заключается на среднесрочной основе.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,2$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,3$.

6. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции средние;
- ♦ контракт заключается на небольшие периоды.

Весовые коэффициенты равны $\omega_1 = \omega_2 = 0,2$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,3$.

7. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции высокие;
- ♦ контракт заключается на условиях одноразовых поставок.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,3$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,2$.

8. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;

- ♦ требования к качеству продукции высокие;
- ♦ контракт заключается на среднесрочной основе.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,3$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,2$.

9. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты не имеют значения;
- ♦ требования к качеству продукции высокие;
- ♦ контракт заключается на небольшие периоды.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,3$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,2$.

10. Исходные требования к поставщикам:

- ♦ цена поставок должна быть низкая;
- ♦ условия оплаты – кредитование в течение 30 дней;
- ♦ требования к качеству продукции низкие;
- ♦ контракт заключается на условиях одноразовых поставок.

Весовые коэффициенты равны: $\omega_1 = \omega_2 = 0,35$; $\omega_3 = \omega_4 = 0,15$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Задания для самостоятельной работы по темам 1, 3, 4

Задание 1. Построить нечеткую модель зависимости выноса мотвила жатвенной части комбайна по горизонтали от двух параметров: «полеглость хлебостоя» и «высота хлебостоя».

Задание 2. Построить нечеткую модель зависимости высоты установки мотвила жатвенной части комбайна от двух параметров: «полеглость хлебостоя» и «высота хлебостоя».

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисова Л.В. Нечеткие модели в задачах технологической регулировки машин.- Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007.- 224 с.

2. Димитров В.П. Инженерия знаний. Вопросы и ответы: учеб. пособие. Изд. 3-е исп. и доп..- Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2014.- 138 с.

3. Димитров В.П., Борисова Л.В. Введение в теорию нечетких множеств: учеб. пособие.- Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2009.- 84 с.

4. Тугенгольд, А.К. К вопросу построения нечеткой экспертной системы продукционного типа для технологической регулировки машин / А.К. Тугенгольд, В.П. Димитров, Л.В. Борисова // Вестник ДГТУ. – 2008. –Т.8, № 3 (38) . – С. 419 - 426.

5. Борисова Л.В. Особенности формализации знаний при логико-лингвистическом описании сложных технических систем / Л.В. Борисова, В.П. Димитров // Ростов-на-Дону, РГАСХМ. – 2006. – 207 с.

6. Димитров В.П. Методика оценки согласованности моделей нечетких экспертных знаний/ В.П. Димитров, Л.В. Борисова, И.Н. Нурутдинова// Вестник ДГТУ. – 2010. – Т10, № 2 (45) . – С. 205-216.

7. Борисова, Л.В. О методике представления нечётких экспертных знаний / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, И.Н. Нурутдинова // Вестник Донского государственного технического университета.– 2014.– Т. 14.– № 4 (79).– С. 93-102.

8. Димитров В.П. О методике фаззификации нечёткой экспертной информации / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, И.Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 11. № 1-2 (62). – С. 46-50.

9. Димитров В.П. Программная система для ввода экспертных знаний / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, И.Н. Нурутдинова, Е.В. Богатырёва // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 11. № 1 (52). – С. 83-90.

10. Димитров В.П. Теоретические и прикладные аспекты разработки экспертных систем для технического обслуживания машин / В.П. Димитров, Л.В. Борисова. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2007. – 202 с.

11. Димитров В.П. О методике дефаззификации нечёткой экспертной информации / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, И.Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10. № 6 (49). – С. 868-878.

12. Димитров В.П., Борисова Л.В. Формализация нечетких экспертных знаний при лингвистическом описании технических систем. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2011.-209 с.

13. Птускин А.С. Нечеткие модели и методы в менеджменте/А.С. Птускин.- М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана.- 2008.- 216 с.